

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL
CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN EN SISTEMAS DE BOMBEO MECÁNICO CON BALANCÍN
CONVENCIONAL Y OTRAS TECNOLOGÍAS EN POZOS DEL ORIENTE
ECUATORIANO**

**AUTOR:
MELINA DEL CARMEN ESTRADA BENALCÁZAR**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el Grado o Título de
Ingeniero de Petróleos**

**TUTOR
ING.CARLOS RODRIGUEZ**

Quito, Enero 2014

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, MELINA DEL CARMEN ESTRADA BENALCÁZAR, en calidad de autora de trabajo de tesis realizada sobre: **“ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN SISTEMAS DE BOMBEO MECÁNICO CON BALANCÍN CONVENCIONAL Y OTRAS TECNOLOGÍAS EN POZOS DEL ORIENTE ECUATORIANO”**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirá vigente a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5,6,8,19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 17 de Diciembre del 2013



.....
Melina del Carmen Estrada Benalcázar
CI. 0704310788

INFORME DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado, presentado por la señorita **MELINA DEL CARMEN ESTRADA BENALCÁZAR**, para optar por el Título o grado de **INGENIERO DE PETRÓLEOS**, cuyo título es: “**Estudio y Aplicación de un Programa de Optimización de la Producción en Sistemas de Bombeo Mecánico con Balancín Convencional y otras Tecnologías en Pozos del Oriente Ecuatoriano**”, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Quito a los 17 días del mes de Diciembre del 2013



Firma
Ing. Carlos Rodríguez

APROBACIÓN DEL TRABAJO / TRIBUNAL

El Tribunal constituido por: Ing. Carlos Rodríguez, Ing. Marco Guerra e Ing. Iván Bedoya.

DECLARAN

Que la presente tesis de grado denominado: “ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN SISTEMAS DE BOMBEO MECÁNICO CON BALANCÍN CONVENCIONAL Y OTRAS TECNOLOGÍAS EN POZOS DEL ORIENTE ECUATORIANO”. Ha sido elaborada íntegramente por la señorita Melina del Carmen Estrada Benalcázar, egresada de la carrera de Ingeniería de Petróleos, ha sido revisada y verificada, dando fé de la originalidad del presente trabajo.

Ha emitido el siguiente veredicto: Se ha aprobado el Proyecto de Tesis para su Defensa Oral.



.....
Firma

Ing. Patricio Izurieta
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DELEGADO
POR EL SEÑOR SUBDECANO



.....
Firma

Ing. Iván Bedoya
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Firma

Ing. Marco Guerra
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mi amado Dios quien me brindó salud y perseverancia para poder cumplir mis metas, poniendo siempre en mi camino personas especiales y concediéndome cumplir con todos los objetivos planteados hasta el momento.

Dedicado a mis amados padres y hermanos, quienes son mi inspiración y mi fuerza para seguir luchando por mis sueños, su opinión en mis decisiones es fundamental en mi vida. Toda mi vida sueños, ilusiones y triunfos está dedicado para ellos.

Asimismo a toda mi familia en general abuelitos, tíos y primos que a pesar de la distancia siempre recibí su apoyo.

A mis mejores amig@s y mi otra familia considerados mis primit@s de corazón. En especial a mi querido amigo Willian Ochoa (+) que se me adelantó al cielo. Al igual que tod@s mis buen@s y querid@s amig@s que durante mi lucha estuvieron siempre e incondicionalmente conmigo, con ell@s nunca pude sentir la soledad estando lejos de casa.

A mi querida Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, en donde pude obtener los mejores conocimientos y tuve la oportunidad de compartir lindos momentos de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios reflejado en el Divino Niño Jesús y la Virgencita del Cisne por guiar siempre mi camino dándome la sabiduría y la fortaleza para tomar las mejores decisiones. A mi amada familia los pilares fundamentales de mi vida mis papitos Angelito y Carmita, mis ñañitos Ruth, Kelvin y Steven quienes a pesar de la distancia estuvieron siempre conmigo apoyándome para cumplir mi sueño, gracias a ellos he podido llegar a los objetivos planteados hasta el momento.

A mis mejores amigas consideradas mis hermanitas Dianita Cueva y Carito Jiménez, a sus familias Bustamante y Jiménez respectivamente, que estuvieron conmigo siempre, abriéndome la puertas de su corazón, considerándome parte de su familia. Asimismo a mi querida amiga Paulina Arteaga, con la pude compartir algunos años de buena amistad.

A mi querida FIGEMPA, de la que me llevo mis mejores recuerdos, buenos amigos y compañeros con los que pude compartir durante el transcurso de mi paso por la Facultad, en especial a mi querido amigo Ing. Marquito Pérez, que fue mi profesor y del cual siempre recibí buenos consejos. Asimismo a mis queridos amigos y colegas Danny Robalino, Juan Carlos Cobos, Ricardo Manosalvas, y Fernando Espín, nunca olvidaré el gesto noble y de amistad que tuvieron conmigo respectivamente en diferentes situaciones.

A mi estimado tutor el Ing. Carlitos Rodríguez que con sus conocimientos supo guiarme en mi proyecto de tesis, al igual que mis estimados profesores y vocales los Ingenieros Iván Bedoya, Patricio Izurieta y Marco Guerra, que también con su ayuda y conocimientos colaboraron para cumplir favorablemente mi proyecto.

Mi más sincero agradecimiento a la empresa Weatherford, especialmente a la línea Artificial Lift System a su Gerente el estimado Ing. José Jaua y a todo su equipo de trabajo los ingenieros: Juliana Ramírez, Freddy Salguero, Johana Basantes, Anita Solá, Daniel Rivadeneira, Cristian Crespo, Pablo Campos, Mayra Sanchez, Silvio Criollo y Nelly Villacís, su tiempo brindado y colaboración fueron muy importantes.

Muy agradecida con mi estimado tutor el Ing. Boris Erazo, que fue mi guía dentro de la empresa, y que gracias a su experiencia y sus conocimientos se ganó mi consideración ayudándome a crecer profesionalmente y personalmente. Asimismo a mis queridos amigos Ing. Adriana Schetini, Jonathan Vélez quienes me apoyaron con su amistad sincera e incondicional estando siempre conmigo cuando necesité una palabra de aliento para seguir adelante y a todos mis apreciados amigos que conforman las oficinas de Weatherford en Quito muchas gracias por todo, su calidez y simpatía hicieron que me sienta en casa.

Finalmente agradecida con todos aquellos amigos que recién pude conocer y a los que me conocieron desde mis inicios de carrera; ya que siempre creyeron en mí, brindándome día a día su amistad sincera, incondicional y desinteresada.

Estoy muy agradecida con Dios y con la vida por poner en mi camino a las personas indicadas, en el momento justo y por ello me siento feliz de poder compartir con la gente que quiero mis anhelos y sueños cumplidos.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE TABLAS	XV
LISTA DE GRÁFICOS	XVI
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	XVII
RESUMEN DOCUMENTAL	XVIII
DOCUMENTAL ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XX
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	1
1.2. ENUNCIADO DEL TEMA.....	1
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.4. HIPÓTESIS.....	2
1.5. JUSTIFICACIÓN	2
1.6. OBJETIVOS	3
1.6.1. Objetivo general	3
1.6.2. Objetivos específicos	3
1.7. FACTIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD	3
1.7.1. Factibilidad.....	3
1.7.2. Accesibilidad.....	4
CAPITULO II	5
MARCO TEORICO	5
MARCO INSTITUCIONAL	5
MARCO LEGAL.....	5
MARCO ÉTICO	6
2. PRINCIPIOS BASICOS DEL BOMBEO MECANICO	6
2.1. EQUIPOS DE SUPERFICIE	7

2.1.1. Unidad Motriz.....	8
2.1.1.1. Motores Eléctricos	8
2.1.1.2. Motores de Ultra Alto Deslizamiento	9
2.1.1.3. Motores a Gas	9
2.1.2. Unidades de Bombeo en Superficie	10
2.1.3. Caja de Engranaje	10
2.1.4. Contrapesos.....	11
2.1.5. Barra Pulida.....	12
2.1.6. Empacaduras del Prensa Estopa.....	12
2.1.7. Líneas de Flujo.....	13
2.1.8. Válvula de Contrapresión.....	13
2.2. EQUIPOS DE FONDO.....	14
2.2.1. Sarta de Varillas	14
2.2.2. Tubería de Producción	17
2.2.3. Unidades de Bombeo en Fondo	17
2.2.3.2. Clasificación de las Bombas	18
2.2.3.2.1. Pistones	19
2.2.3.2.2. Barril de la Bomba	21
2.2.3.2.3. Válvula Viajera y Válvula Fija	22
2.2.3.3. Bombas de Tubería	26
2.2.3.4. Bombas de Varillas (insertables)	27
2.2.3.4.1. Ancla de Tubería y Niple de Asentamiento	28
2.2.3.4.2. Ancla de Gas	29
2.2.3.5. Designación API para las bombas.....	30
2.3. CLASES DE EQUIPOS DE BOMBEO MECÁNICO.....	34
2.3.1. Unidades de Superficie Convencionales	34
2.3.1.1. Unidad de Bombeo Convencional	35
2.3.1.2. Unidad de Bombeo Mark II	36
2.3.1.3. Unidad Balanceada por Aire	36
2.3.1.4. Ventajas y Desventajas de las Unidades de Superficie Convencionales	37
2.3.1.4.1. Ventajas.....	37
2.3.1.4.2. Desventajas	37

2.3.2. Unidades No Convencionales	37
2.3.2.1. Unidad Rotaflex	37
2.3.2.1.1. Características Importantes de una Unidad Rotaflex	39
2.3.2.1.2. Partes importantes de la Unidad Rotaflex	40
2.3.2.1.3. Principales Aplicaciones de la Unidad Rotaflex	40
2.3.2.1.4. Especificaciones de una Unidad Rotaflex	41
2.3.2.2. Unidad Hidráulica de Superficie VSH2 (Weatherford)	41
2.3.2.2.1. Componentes de una Unidad VSH2	42
2.3.2.2.2. Funcionamiento de una Unidad VSH2	44
2.3.2.2.3. Características Importantes de una Unidad VSH2	47
2.4. HERRAMIENTAS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL BOMBEO MECÁNICO	47
2.4.1. Dinamómetro Electrónico	49
2.4.2. Ecómetro	50
2.4.2.1. Técnica de Ecometría	51
2.4.3. Análisis Nodal en pozos de Bombeo Mecánico	52
2.4.3.1. Curvas IPR	60
2.4.4. Análisis Workbench en pozos con Bombeo Mecánico	63
2.4.4.1. Método de Everitt Jennings para el cálculo de Cartas Dinamométricas	64
2.5. INTERPRETACIÓN DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS	65
CAPITULO III	71
3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA LOWIS™	71
3.1. DEFINICIÓN DE LOWIS™	71
3.2. CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LOWIS™	71
3.3. FUNCIONABILIDAD DE LOWIS™ PARA SISTEMAS CON BOMBEO MECÁNICO.	72
3.4. BENEFICIOS DE LOWIS™ Beam	72
3.5. ESTRUCTURA de comunicación DE LA HERRAMIENTA LOWIS™ Beam.	73
3.6. INTERFAZ DE APLICACIÓN LOWIS™ Beam	74
3.6.1. Navegador LOWIS™	75
3.6.2. Inicio.	77
3.6.3. Barra de vista	77
3.6.4. Principal	77
3.6.5. Grupos de flujo de trabajo de LOWIS™ Beam en pozos con Bombeo Mecánico	77

3.6.5.1. Configuración	78
3.6.5.1.1. Configuraciones generales de pozo.....	78
3.6.5.1.2. Configuración de Parámetros	79
3.6.5.1.3. Configuración de puntos de Data.....	81
3.6.5.2. Monitoreo.....	82
3.6.5.2.1. Estado de producción de grupo de pozos	82
3.6.5.2.2. Estado de grupo de pozos de bombeo mecánico.....	82
3.6.5.3. Análisis.....	85
3.6.5.3.1. Desempeño de pozos de Bombeo Mecánico.....	86
3.6.5.3.2. Banco de trabajo de pozos con Bombeo Mecánico.....	90
3.6.5.3.3. Recolección de cartas	91
3.6.5.3.4. Análisis de Fondo de Pozo.....	92
CAPITULO IV	95
4. ANALISIS Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL EN POZOS SELECCIONADOS	95
4.4. ANTECEDENTES DEL POZO YULEBRA 08	95
4.4.1. Ubicación	95
4.4.2. Historial de Reacondicionamiento del Pozo Yulebra 08	96
4.4.3. Diagrama de Completación del pozo Yulebra 08	97
4.4.4. Diagrama de Instalación del pozo Yulebra 08	99
4.4.5. Historial de Producción del pozo Yulebra 08	100
CAPITULO V	101
5. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO MECANICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.	101
5.1. OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LOS POZO SHUARA 09, CULEBRA 07, YULEBRA 03, YULEBRA 08 APLICANDO EL PROGRAMA LOWIS TM BEAM.	101
5.1.1. Configuración del pozo Yulebra 08 con LOWIS TM BEAM.....	102
5.1.1.1. Información en Fondo y Superficie.	102
5.1.1.1.1. Información de los pozos Seleccionados	103
5.1.1.1.2. Parámetros de Fondo de Pozo	104
5.1.1.1.3. Datos de la Unidad de Bombeo.....	105
5.1.1.1.4. Designación de las Varillas.....	107
5.1.1.1.5. Parámetros de los Fluidos	111

5.1.1.1.6. Parámetros de Comunicación.....	112
5.1.1.2. Añadir un pozo de Bombeo Mecánico.....	113
5.1.1.2.1. Información general del pozo.	114
5.1.1.2.2. Parámetros de Comunicación.....	115
5.1.1.2.3. Información de fondo de pozo	116
5.1.1.2.4. Propiedades de los Fluidos.....	117
5.1.1.2.5. Información de la Unidad de Bombeo	118
5.1.1.2.6. Torque de Manivela, Contrapeso y Contrabalanceo	119
5.2. ANÁLISIS WORKBENCH DEL POZO YULEBRA 08 CON LOWIS™ BEAM.	120
5.2.1. Análisis Workbench del pozo Yulebra 08 por el método Everitt Jennings.	120
6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONOMICO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO MECÁNICO INSTALADOS	144
6.1. ANÁLISIS TÉCNICO	144
6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO	145
6.2.1. Evaluación Económica.....	145
6.1.2. Resultados Económicos con respecto al VAN y TIR	147
CAPITULO VII	149
7. SISTEMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PLANES DE CONTINGENCIA.....	149
7.1. NORMAS DE SEGURIDAD APLICADAS.....	149
7.1.1. Administración de Riesgos	149
7.1.2. Operaciones y equipo de carga	150
7.1.3. Sustancias peligrosas	151
7.1.4. Ambientes peligrosos.....	152
7.1.5. Seguridad del conductor y vehicular.....	153
7.1.6. Compromiso e intervención.....	154
7.1.7. Seguridad en las instalaciones	155
7.1.8. Inducción y entrenamiento.....	156
7.2. CERTIFICACIONES DE CALIDAD	157
7.3. PLAN DE CONTINGENCIA PARA EL CONTROL AMBIENTAL.....	157
7.3.1. Manual de HSE.....	157
7.3.2. Mantenimiento y Control del Medio Ambiente.....	157
7.3.2.1. Propósito	157
7.3.2.2. Alcance	158

7.3.2.3. Responsabilidades.....	158
7.3.2.4. Procedimiento	158
CAPITULO VIII.....	160
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
8.1. CONCLUSIONES	160
8.2. RECOMENDACIONES.....	160
CAPITULO IX	161
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ANEXOS.....	161
9.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161
9.1.1. Bibliografía Citada.....	161
9.1.2. Bibliografía Consultada	161
9.1.3. Webgrafía.....	162
9.2. ANEXOS	163
ANEXO A-1: Glosario Técnico.....	163
ANEXO A-1: Mapa Vial de ubicación del Campo Yuca - Auca.....	167
ANEXO C-1: Designación de las bombas de acuerdo a la API	168
ANEXO D-2: Modelos de la Unidad Rotaflex	169
ANEXO D- 1: Registro de Nivel y Dinagrama del pozo Yulebra 03.....	170
ANEXO D- 2: Especificaciones y Dimensiones de una unidad Maximizer C912-365-168 (Yulebra 03).....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01.- Componentes de un Sistema de Bombeo Mecánico	7
Figura N° 02.- Designación de las Unidades de Bombeo de acuerdo a la API.....	10
Figura N°03.- Diseños de la caja de engranaje	11
Figura N° 04.- Diagrama de un Balancín Convencional con Contrapesos	12
Figura N° 05.- Diagramas de un Prensa Estopa	12
Figura N° 06.- Válvula de Contrapresión o Pressure Back	13
Figura N° 07.- Catalogación de las Varillas.....	15
Figura N° 08.- Couplin de las Varillas	16
Figura N° 09.- Bombas de Subsuelo	17
Figura N° 10.- Componentes Básicos de la Bomba de Tubo y de la Bomba Insertable	19
Figura N° 11.- Diagrama del funcionamiento de un pistón.....	20
Figura N° 12.- Barriles de pared delgada y pared gruesa.....	21
Figura N° 13.- Tipos de jaulas válvula fija	22
Figura N° 14.- Tipos de jaulas válvula viajera.....	22
Figura N° 15.- Válvulas viajeras	23
Figura N° 16.- Diagrama simplificado de las bombas de varillas.....	24
Figura N° 17.- Carga de fondo del Pistón vs Posición para la Bomba llena.....	25
Figura N° 18.- Bombas de tubería.....	26
Figura N° 19.- Anclaje de Bombas de Varillas	27
Figura N° 20.- Bombas de varillas más comunes	28
Figura N° 21.- Ancla inferior y ancla superior de tubería.....	29
Figura N° 22.- Diagrama de un ancla natural de gas.....	29
Figura N° 23.- Bombas API.....	33
Figura N° 24.- Configuraciones de bombas más utilizadas	33
Figura N° 25.- Balancín convencional Maximizer I instalado en el pozo Auca 52 del campo Auca	35
Figura N° 26.- Balancín Convencional	35
Figura N° 27.- Unidad Mark II.....	36
Figura N° 28.- Unidad balanceada por aire.....	36
Figura N° 29.- Modelo de unidad Rotaflex instalada en el pozo Yulebra 08 del Campo Auca.....	38
Figura N° 30.- Carrera ascendente y descendente de una unidad Rotaflex.....	39
Figura N° 31.- Carrera ascendente y descendente de una unidad Rotaflex.....	40
Figura N° 32.- Unidad de bombeo VSH2 instalada en el pozo Pichincha 12 del Campo Libertador.....	42
Figura N° 33.- Partes que conforman una unidad VSH2	44
Figura N° 34.- Cilindro actuador y cilindro acumulador de una unidad VSH2	44
Figura N° 35.- Funcionamiento de una unidad VSH2	45
Figura N° 36.- Carrera ascendente del bombeo de VSH2.....	46
Figura N° 37.- Carrera descendente del bombeo de VSH2.....	46
Figura N° 38.- Cartas dinamométricas de fondo a partir de la carta en superficie.....	49
Figura N° 39.- Interpretación de cartas Dinamométricas.....	50
Figura N° 40.- Fotografía de un Echometer para la interpretación de Cartas Dinamométricas.....	51
Figura N° 41.- Ilustración de la técnica de Toma de Niveles.....	52
Figura N° 42.- Tramos de pérdidas de producción (nodos) en los pozos.....	53

Figura N° 43.- Pérdidas de presión en los nodos	55
Figura N° 44.- Presión con respecto el caudal para determinar la caída de presión en cualquier componente.	57
Figura N° 45.- Efecto sobre la capacidad de flujo debido al cambio del diámetro de tubings.	58
Figura N° 46.- Efecto del cambio en los diámetros de tubing sobre la capacidad de flujo del sistema.	59
Figura N° 47.- Diámetro reducido de tubing restringe la capacidad de flujo del pozo.	59
Figura N° 48.- Desarrollo del pozo se controlado por el desempeño de entrada (inflow).	60
Figura N° 49.- Representación esquemática de las curvas de comportamiento de presión – producción... 61	
Figura N° 50.- Esquema del comportamiento Presión – Producción de acuerdo a correlación de Fetkovich	62
Figura N° 51.- Representación de una carta Dinagráfica	65
Figura N° 52.- Funcionamiento de la Bomba de Subsuelo y Carta Dinagráfica ideal para una Bomba con carga llena	66
Figura N° 53.- Carta Dinagráfica ideal para una Bomba con carga llena	67
Figura N° 54.- Lectura de cartas dinamométricas características de los casos más comunes	70
Figura N° 55.- Características importantes de LOWIS™BEAM.....	71
Figura N° 56.- Proceso y mejora continua mediante LOWIS™BEAM	74
Figura N° 57.- Interfaz de aplicación de LOWIS™BEAM	75
Figura N° 58.- Navegador LOWIS™BEAM	76
Figura N° 59. Gráfica de análisis de tiempo de corrida	83
Figura N° 60. Estado actual del pozo	84
Figura N° 61. Desempeño de grupo en superficie.....	86
Figura N° 62. Desempeño de grupo de prueba	87
Figura N° 63. Desempeño de grupo de fondo	88
Figura N° 64. Reporte de análisis de fondo de pozo en LOWIS™	92
Figura N° 65.- Mapa de ubicación del pozo Yulebra 08.....	95
Figura N° 66.- Diagrama Side Track del pozo Yulebra 08	98
Figura N° 67.- Diagrama de instalación de la unidad rotaflex 900 en el pozo Yulebra 08.....	99
Figura N° 68. Ventana desplegada para añadir un pozo y empezar a configurar en LOWIS, aplicado al pozo Yulebra 08.....	113
Figura N° 69. Ventana desplegada para configurar la información general de pozo, aplicado al pozo yulebra 08.....	114
Figura N° 70. Ventana desplegada para configurar los parámetros de comunicación, aplicado al pozo yulebra 08.....	115
Figura N° 71. Ventana desplegada para configurar la información de fondo de pozo, aplicado al pozo yulebra 08.....	116
Figura N° 72. Ventana desplegada para configurar las propiedades del fluido, aplicado al pozo Yulebra 08	117
Figura N° 73. Ventana desplegada para configurar la información de la unidad de bombeo y del motor, aplicado al pozo Yulebra 08.....	118
Figura N° 74. Ventana desplegada para configurar los parámetros de torque, contrapeso y contrabalanceo de las contrapesas de la unidad en superficie, aplicado al pozo Yulebra 08.....	119
Figura N° 75. Ventana desplegada para seleccionar el pozo yulebra 08 para realizar el Análisis Workbench EN LOWIS™	120

Figura N° 76. Ventana desplegada para cargar una carta Dinamométrica del pozo Yulebra 08 en LOWIS™	121
Figura N° 77.- Ventana desplegada para realizar el Análisis Workbench en LOWIS™ aplicado al pozo yulebra 08.....	122
Figura N° 78.- Ventana desplegada para las cartas de calibración en LOWIS™ aplicado al pozo yulebra 08	122
Figura N° 79.- Ventana desplegada con los diagramas de superficie y de fondo en LOWIS™ aplicado para el pozo yulebra 08	123
Figura N° 80.- Minireporte de las cartas de superficie y de fondo del pozo yulebra 08 presentado por lowis™	123
Figura N° 81.- Ventana de LOWIS™ desplegada en la pestaña análisis de reporte del pozo Yulebra 08	124
Figura N° 82.- Reporte de análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	124
Figura N° 83.- Reporte de análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	125
Figura N° 84.- Ventana desplegada por LOWIS™ beam con la pestaña estrés de la sarta de varillas por Everitt Jennings del pozo Yulebra 08.....	125
Figura N° 85.- Reporte de análisis del estrés de las varillas del pozo yulebra 08 presentado por LOWIS™	126
Figura N° 86.- Tabla con los valores correspondientes a cada sarta de varillas del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	127
Figura N° 87.- Ventana desplegada para la configuración de la sarta de varillas del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	128
Figura N° 88.- Ventana desplegada para elegir la opción de análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	128
Figura N° 89.- Pestaña de sensibilidad del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	129
Figura N° 90.-Reporte de sensibilidad del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	129
Figura N° 91.- Ventana desplegada en la configuración de los parámetros de fondo del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	130
Figura N° 92.- Ventana desplegada para la configuración de los parámetros del fluido del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	130
Figura N° 93.- Ventana desplegada para la gráfica de los parámetros de tiempo vs carga y posición del pozo yulebra 08 presentado por LOWIS™	131
Figura N° 94.- Gráfica de tiempo vs carga y posición del pozo Yulebra 08 presentada por LOWIS™ ..	131
Figura N° 95.- Ventana desplegada del catálogo de la unidad de bombeo del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	134
Figura N° 96.- Ventana desplegada para elegir la pestaña de balance de la unidad del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	134
Figura N° 97.- Ventana desplegada para elegir la pestaña del reporte de diagnóstico del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	135
Figura N° 98.- Reporte de Análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	135
Figura N° 99.- Reporte de análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™	136
Figura N° 100.- Ventana desplegada de cartas dinamométricas del programa TWM Echometer	137
Figura N° 101. Plantilla de cartas Dinamométricas de Fondo	138
Figura N° 102. Plantilla de cartas Dinamométricas de Fondo	139
Figura N° 103.- Carta de superficie y de fondo graficada por LOWIS™	140

Figura N° 104.- Cartas de calibración de fondo y superficie graficada por LOWIS™	141
Figura N° 105.- Cartas de calibración de fondo y superficie graficada por TWM-Echometer.....	141
Figura N° 106.- Diagrama del stress de las diferentes sargas de varillas por Everitt Jennings presentada por LOWIS™	142
Figura N° 107.- Joyas de seguridad de Weatherford.....	149
Figura N° 108.- Tomarse el tiempo para aplicar los controles adecuados.	150
Figura N° 109.- No todas las operaciones de elevación tienen lugar en el trabajo.	151
Figura N° 110.- Mira antes de saltar.	152
Figura N° 111.- Ha planificado lo que pueda no estar bien.....	153
Figura N° 112.- Los objetos en el espejo están más cerca de lo que aparentan.	154
Figura N° 113.- Te comprometes con la seguridad cuando nadie está mirando	155
Figura N° 114.- No dejes que tu complacencia lastime a alguien más.	156
Figura N° 115.- Nunca subestimes tu poder de influencia.	157

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01.- Diseño de la Caja de Engranaje.....	11
Tabla N° 02.- Especificaciones API para la Fabricación de Varillas.....	15
Tabla N° 03.- Propiedades Químicas de las Varillas	16
Tabla N° 04.- Profundidad máxima de asentamiento de acuerdo al tipo de bomba.....	30
Tabla N° 05.- Máximo diámetro de la Bomba por Diámetro de Tubería.....	34
Tabla N°06.- Ejemplo de un balancín convencional instalado en el pozo Auca 52 del campo Auca.....	35
Tabla N° 07.- Ejemplo de un Balancín Convencional instalado en el pozo Yulebra 08 del campo Auca. .	38
Tabla N° 08.- Coordenadas del pozo Yulebra 08.....	96
Tabla N° 09.- Parámetros de fondo de pozo de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	103
Tabla N° 10.- Parámetros de Fondo de Pozo de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	104
Tabla N° 11.- Información de las Unidades de Bombeo en Superficie de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09.....	105
Tabla N° 12.- Información de las Unidades de Bombeo en Superficie de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09.....	106
Tabla N° 13.- Información de las varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	107
Tabla N° 14.- Información de las varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	108
Tabla N° 15.- Información de las varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	109
Tabla N° 16.- Información de las varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	110
Tabla N° 17.- Información de los parámetros de los fluidos de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09	111

Tabla N° 18.- Información de los Parámetros de Comunicación de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09.....	112
Tabla N° 19.- Tabla de datos presentada por LOWIS TM para la gráfica Tiempo vs Carga y Posición.....	132
Tabla N° 20.- Tabla de datos presentada por LOWIS TM para la gráfica carga vs posición.....	133
Tabla N° 21.- Cuadro resumen con los resultados del análisis Workbench del pozo Yulebra 08 de acuerdo al software LOWIS TM	143
Tabla N° 22.- Datos importantes de los pozos seleccionados para el proyecto en LOWIS TM	144
Tabla N° 23.- Ingresos anuales de un pozo que ha sido seleccionado para ser conectado con LOWIS TM	146
Tabla N° 24.- Precios estimados de mantenimiento de un pozo con bombeo mecánico y que ha sido conectado con LOWIS TM	146
Tabla N° 25.- Egresos anuales de un pozo con Bombeo Mecánico y que ha sido conectado con LOWIS TM	147

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01.- Clasificación de las bombas de subsuelo.....	18
Gráfico N° 02.- Código para la designación de las bombas API	31
Gráfico N° 03.- Resumen de herramientas utilizadas para la optimización de Bombeo Mecánico	48
Gráfico N° 04.- Proceso y mejora continua mediante LOWIS TM Beam	72
Gráfico N° 05.- Beneficios que ofrece el software LOWIS TM Beam	73
Gráfico N° 06.- Parámetros de comunicación de LOWIS TM Beam	79
Gráfico N° 07.- Resumen de parámetros de configuración para pozos con Bombeo Mecánico.....	80
Gráfico N° 08.- Resumen de configuración de puntos data.	81
Gráfico N° 09.- Resumen de estado de puntos de data	85
Gráfico N° 10.- Resumen del grupo de pozos de Bombeo Mecánico.....	89
Gráfico N° 11.- Resumen de banco de trabajo de análisis de Bombeo Mecánico	90
Gráfico N° 12.- Resumen de las diferentes cartas utilizadas en LOWIS TM	91
Gráfico N° 13.-Resumen de parámetros desplegados en el reporte de análisis	93
Gráfico N° 14.- Historial de producción del pozo yulebra 08.....	100
Gráfico N° 15.- Diagrama del tiempo de recuperación de la inversión del proyecto LOWIS TM	148

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ASTM:	The American Society for Testing and Materials
API:	American Petroleum Institute
BN:	Barriles normales o barriles estándar
BSW:	Sedimentos Básicos y Agua
BPPD:	Barriles de Petróleo por día
BWPD:	Barriles de agua por día
BY:	Barriles de Yacimiento
FAP:	Fluido Sobre la Bomba
IP:	Inflow Performance (Índice de productividad)
LOWIS:	Software de Información de vida útil de un pozo
NEMA:	Nacional Electrical Manufacturers Association
PIP:	Presión de succión de la bomba
Pwf:	Presión de fondo fluyente
PR:	Presión de reservorio
Pwfs:	Presión de la cara del pozo
PUR:	Presión de entrada de restricción
PDR:	Presión de descarga de restricción
PUSV:	Presión a la entrada de la válvula de seguridad
RPC:	Remote Procedure Call
RTU:	Unidad Técnica Remota

RESUMEN DOCUMENTAL

Tesis sobre: Ingeniería de Producción, Análisis Nodal, Análisis Workbench, dirigida para el análisis técnico – operacional del sistema de Levantamiento Artificial para pozos con Bombeo Mecánico. **OBJETIVO GENERAL:** Estudiar 3 modelos de Bombeo Mecánico con Balancín, Rotaflax y VSH2 utilizando las ventajas tecnológicas e innovadoras que nos ofrece la herramienta LOWIS™ BEAM, a través de un monitoreo en tiempo real y del Análisis Nodal. **PROBLEMA:** Análisis Técnico – Económico, Análisis Workbench y Análisis Nodal de pozos con Bombeo Mecánico conectados con LOWIS™ BEAM para optimizar la producción. **HIPOTESIS:** El Estudio y Análisis Técnico – Económico del pozo de Bombeo Mecánico Yulebra 08 analizado con LOWIS™ BEAM permitirá encontrar mejoras en la optimización de la producción. **MARCO INSTITUCIONAL:** Se describen la Misión y la Visión de la empresa Weatherford.International.LA. **MARCO LEGAL:** Se describe los cumplimientos legales como empresa. **MARCO ÉTICO:** Se especifica que el desarrollo del proyecto cuenta con los principios éticos de la institución y del autor. **MARCO REFERENCIAL:** El proyecto se desarrolla en el pozo Yulebra 08 de la Cuenca Oriental del Distrito Amazónico Ecuatoriano. **MARCO TEÓRICO:** Principios básicos del Bombeo Mecánico, Descripción del Programa LOWIS™, Datos de Historiales completos del pozo Yulebra 08. **MARCO METODOLÓGICO:** Análisis Workbench utilizando el programa LOWIS™ BEAM tomando datos de Historiales Producción, Historiales de Reacondicionamiento, Diagramas de Completación e Instalación. Análisis Técnico-Económico de los Pozos seleccionados para el estudio, Normas de seguridad Industrial y Planes de Contingencia Ambiental. **CONCLUSIÓN GENERAL:** El programa LOWIS™ BEAM nos ofrece algunas ventajas, y una de las principales es poder tener una conexión en tiempo real, y de esta manera sistematizar los Sistemas de Bombeo Mecánico, pudiendo darnos la facilidad de trabajar vía remota con varios pozos a la vez desde un solo ordenador. **RECOMENDACIÓN GENERAL:** Utilizar el programa LOWIS™ BEAM para tener una información más exacta y seguimiento en tiempo real en pozos en pozos instalados con Bombeo Mecánico en Ecuador.

DESCRIPTORES:

LOWIS™ BEAM-ANÁLISIS NODAL
BOMBEO MECÁNICO
YULEBRA 08
ANÁLISIS TÉCNICO
ANÁLISIS OPERACIONAL
ANÁLISIS ECONÓMICO

CATEGORÍAS TEMÁTICAS:

< CP-INGENIERÍA EN PETRÓLEOS >
< CP-INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN >
< CS-LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL >
< OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN >

DOCUMENTAL ABSTRACT

Thesis about: Production Engineering, Nodal Analysis , Analysis Workbench , directed to technical analysis - operational Artificial Lift System for Mechanical Pumping wells .**GENERAL OBJETIVE:** To study Mechanical Pump 3 models with Seesaw, and VSH2 Rotaflex using innovative technological advantages offered LOWIS™BEAM tool , through real- time monitoring and Nodal Analysis. **PROBLEM:** Technical Analysis - Economic and Nodal Analysis of Mechanical Pumping wells connected to LOWIS™BEAM to optimize production. **HYPOTHESIS:** The Study and Technical Analysis - Economic Mechanical Pumping well Yulebra 08 analyzed LOWIS™ BEAM will find improvements in production optimization .**INSTITUTIONAL FRAMEWORK:** We describe the Mission and Vision of the company Weatherford.International.LA. **LEGAL FRAMEWORK:** We describe the legal and business compliance. **ETHICAL FRAMEWORK:** It specifies that the project has the ethical principles of the institution and the perpetrator. **FRAMEWORK:** The project is located in the well Yulebra 08 Eastern Basin District Ecuadorian Amazon. **THEORETICAL FRAMEWORK :** Basics of Mechanical Pumping , LOWIS™ Program Description , Data Histories complete the well Yulebra 08. **METHODOLOGICAL FRAMEWORK :** Analysis Workbench using the LOWIS™BEAM program taking data LOWIS™ Production Histories, Histories Overhaul , History of Restoration of pressures. Evaluation of the wells with salinities Histories , Petrophysical Properties of Sands Production , Reserves Remaining , Production Behavior with different lift systems , Problems presented : Electrical, Mechanical , Hydraulic, In Training (Studio Arena) and Technical Analysis - economic Wells selected for the study . **GENERAL CONCLUSION:** The LOWIS™ BEAM program offers some advantages, and one of the main ones is to have a real-time connection, and so systematize Pumping Mechanical Systems and can give us the ease of working remotely over several wells at once from a single computer. **GENERAL RECOMMENDATION:** Use LOWIS™ BEAM program to have a more accurate and real-time monitoring wells installed in wells Pumping Mechanical in Ecuadorian.

DESCRIPTORS:

LOWISTM BEAM - NODAL ANALYSIS
MECHANICAL PUMP
YULEBRA 08
TECHNICAL ANALYSIS
OPERATIONAL ANALYSIS
ECONOMIC ANALYSIS

SUBJECT CATEGORIES:

<CP-PETROLEUM ENGINEERING>
<CP-PRODUCTION ENGINEERING>
<CS-ARTIFICIAL LIFT>
<OPTIMIZATION OF PRODUCTION>

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico es el más antiguo y más utilizado en el mundo, esto se debe principalmente a los bajos costos operativos, facilidad de producción y bajo riesgo de derrames por ser una operación a baja presión.

El funcionamiento de este sistema se define por una unidad de motor en superficie que se encarga de comunicar un movimiento reciprocante a una sarta de varillas, la que produce un desplazamiento positivo en una bomba colocada en el pozo cerca de la formación productiva para poder levantar el fluido hasta la superficie.

Con el pasar del tiempo éste sistema de levantamiento ha experimentado mejoras tecnológicas que ayudan a optimizar la producción de petróleo, las mismas que serán mostradas en el presente estudio de los 3 diferentes modelos de bombeo mecánico que posee la empresa Weatherford y que actualmente existen en el mercado.

El programa a ser utilizado para el respectivo estudio es LOWIS™, y fue diseñado para mejorar la eficiencia y efectividad de los procesos de monitoreo de pozos, proporcionando un seguimiento de las operaciones durante el proceso de producción de petróleo y gas que incluye una supervisión en tiempo real con alarmas, análisis de sistemas de levantamiento artificial, tendencias, reportes y gráficos. A partir de las características señaladas con éste programa, permite realizar la planificación de trabajos, finanzas, prioridades de trabajo y capacidades retrospectivas.

Adicionalmente con la ayuda del Banco de Trabajo Analítico “Analysis Workbench” que nos ofrece el programa seleccionado (herramienta LOWIS™, programa con licencia Weatherford de análisis y monitoreo en tiempo real) se estudiará el pozo Yulebra 08 instalado con Bombeo Mecánico, con el fin de mostrar y a su vez determinar el comportamiento de los elementos utilizados, en busca de nuevas oportunidades de productividad.

Además, en el presente estudio vamos a revisar los implementos que se deben utilizar para conectar los pozos mediante los sistemas de comunicación disponibles, permitiendo obtener los datos de los elementos que componen los equipos de Bombeo Mecánico y las variables necesarias para el Análisis Workbench, lo que nos permitirá evitar problemas que se puedan presentar en busca de mejoras en la optimización de la producción comprendiendo las pérdidas de presión que se dan entre el fondo y la superficie.

Se realizará también un Análisis Técnico - Económico en las diferentes unidades de Bombeo Mecánico conectadas a un programa de optimización de la producción, instaladas en pozos del oriente ecuatoriano con la finalidad de buscar mejoras técnicas y económicas en la vida productiva de los pozos.

Por tanto el objetivo principal del proyecto de tesis es estudiar nuevas tecnologías de Bombeo Mecánico utilizando las ventajas de un seguimiento en tiempo real, con un Análisis Nodal y Workbench, para finalmente buscar mejoras que contribuyan a favorecer la optimización de la producción de los pozos que se han seleccionado.

En el Capítulo I se plantean los objetivos y la justificación de la presente investigación.

En el Capítulo II se detallan los principios básicos del Bombeo Mecánico.

El Capítulo III describe en funcionamiento de la herramienta utilizada para el Análisis Nodal y Workbench LOWIS™ BEAM.

El Capítulo IV se presenta una evaluación y análisis de la información histórica de los pozos seleccionados para el estudio.

En el Capítulo V mediante un Análisis Workbench aplicado a los tres diferentes modelos de bombeo mecánico se quiere descubrir mejoras en la optimización de la producción.

En el Capítulo VI se realizará un Análisis Técnico – Económico para mostrar los beneficios económicos de tener pozos conectados a un programa con un seguimiento instantáneo.

En el Capítulo VII se describirán las Normas Ambientales y de Seguridad aplicadas por la empresa Weatherford.

El Capítulo VIII muestra las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

Y por último en el capítulo IX se muestran las Referencias Bibliográficas y los Anexos.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede optimizar la producción de pozos con Bombeo Mecánico, aprovechando los beneficios de poseer un monitoreo en tiempo real, realizando un Análisis Workbench y utilizando como herramienta el programa LOWISTM?

1.2. ENUNCIADO DEL TEMA

Estudio y Aplicación de un programa de optimización de la producción en Sistemas de Bombeo Mecánico con Balancín Convencional y Otras Tecnologías en pozos del oriente ecuatoriano.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Un sistema de levantamiento artificial se necesita en aquellos pozos donde la presión del yacimiento no es suficiente para elevar los fluidos hasta la superficie o cuando se desea producir más de un pozo fluyente. El fluido producido puede ser petróleo, agua o una mezcla de ambos, típicamente incluyendo una cierta cantidad de gas.

El fluido se levanta por medio de dispositivos mecánicos en el pozo, tales como bombas, o reduciendo el peso de la columna hidrostática por medio de la inyección de gas a cierta profundidad del pozo.

Una vez instalados y puestos a correr los equipos de Bombeo Mecánico en los pozos del Oriente Ecuatoriano, se presentan problemas relacionados con las pérdidas en la completación del pozo y en la productividad del pozo.

Influyendo negativamente en el desempeño esperado del pozo. Estos problemas, cuando se presentan, necesitan ser resueltos de manera rápida y efectiva con la menor pérdida de producción posible.

Con la finalidad y necesidad de buscar nuevas opciones para optimizar la producción y de aprovechar al máximo las ventajas que ofrece el monitoreo en tiempo real, surge la importancia de un estudio y optimización de la producción con un Análisis Nodal y Workbench a través del programa LOWISTM.

1.4. HIPÓTESIS

Las pérdidas de producción causadas en los pozos de Bombeo Mecánico por problemas en la completación o por problemas de productividad del pozo pueden ser disminuidas mediante el uso de un programa de monitoreo que permita disminuirlas. Este programa es capaz de monitorear los Equipos de Levantamiento Artificial de manera permanente, recolectando los datos y analizando, con el fin de que las decisiones adecuadas puedan ser tomadas en tiempo real para mantener la producción.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La industria petrolera es la principal fuente de la economía del Ecuador y el incrementar u optimizar la producción de petróleo mediante la innovación tecnológica de modelos creados para su extracción en pozos existentes, es considerado uno de los retos más importantes.

Por esta razón aplicando los beneficios que nos ofrece la herramienta LOWISTM, mediante un Análisis Workbench, el presente proyecto teórico - práctico pretende dar a conocer nuevas opciones tecnológicas en cuatro pozos que se encuentran conectados al programa.

Un programa de monitoreo en tiempo real nos permitirá solventar de mejor manera los problemas que se produzcan en el pozo, además de permitirnos hacer Análisis Workbench con toda la información que ingresa desde el pozo.

El pozo Yulebra 08 ha sido seleccionado para ser analizado debido a que cumple con las facilidades para ser conectados al sistema de monitoreo que existe actualmente en Petroamazonas.

Con ello se busca optimizar, mediante un mantenimiento efectivo de la unidades de Bombeo y así evitar pérdidas de producción a través de una acción rápida y efectiva ante problemas que se puedan presentar en éstos pozos, aprovechando las ventajas de un programa de monitoreo en tiempo real con alarmas.

Además, ésta de tesis tiene la finalidad de mostrar las ventajas de tener un seguimiento en tiempo real en pozos que se encuentran produciendo con Bombeo Mecánico en Ecuador y que actualmente son utilizados por sus bajos costos de operación. Contribuyendo así, a buscar nuevas mejoras en la optimización de la producción en este tipo de levantamiento.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

Estudiar y Aplicar las ventajas de tener un seguimiento en tiempo real en pozos de Bombeo mecánico a través de la herramienta de optimización de la producción LOWISTM BEAM.

1.6.2. Objetivos específicos

- Describir los 3 modelos de bombeo mecánico que posee la empresa Weatherford (Balancín, Rotaflex y VSH2) tomando en cuenta sus características más importantes.
- Dar a conocer los beneficios que ofrece el programa LOWISTM (con Licencia Weatherford.LA.), mediante su herramienta de Análisis Workbench y monitoreo en tiempo real en los pozos seleccionados.
- Evaluar los diferentes métodos de levantamiento artificial por bombeo mecánico mediante la información de datos históricos de producción de pozos seleccionados.
- Realizar un análisis técnico económico de los modelos de bombeo mecánico con Balancín Convencional, y otras tecnologías para dar a conocer las ventajas de conectar pozos con el programa LOWIS.
- Recomendar de acuerdo al presente estudio de investigación las mejoras de tener un pozo productor conectado con un software que supervise en tiempo real su vida productiva.

1.7. FACTIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD

1.7.1. Factibilidad

Es factible llevar a cabo el presente proyecto porque se cuenta con el talento humano de la persona responsable de la investigación, con el apoyo respecto a la información proporcionada por parte de la empresa WEATHERFORD y con datos de operación en los diferentes pozos en los que la empresa presta sus servicios.

Tenemos el aporte técnico - teórico en la utilización del programa LOWISTM (importante para el análisis nodal), además se dispone de bastante información bibliográfica y webgráfica correspondiente al tema y por último contamos con el tiempo suficiente de 6 meses y los recursos económicos para la ejecución del proyecto.

1.7.2. Accesibilidad

El presente proyecto es accesible porque la empresa WEATHERFORD permitirá acceder a la información para la recolección de datos e interpretación de los mismos, y colaborará con toda la información pertinente con respecto al programa LOWISTM que vamos a utilizar.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

MARCO INSTITUCIONAL

Misión

“La Misión de la Compañía, es la prestación de servicios para la Industria de Petróleo y Gas, actividad que realiza a través de: Servicios de Instalación y de Intervención en el Pozo, Alquiler de Herramientas y Servicios de Fabricación y Reparación de Herramientas en Taller. Sus principales clientes son las compañías operadoras y de servicios del sector.

Su compromiso es el de realizar todas las actividades bajo un esquema de mejoramiento continuo, operando con calidad, en forma segura, protegiendo el medio ambiente e impulsando la formación integral de sus empleados, para así mantener un alto nivel de satisfacción en la prestación del servicio y en el desempeño general de la Compañía. (Weatherford South América LLC).”¹

Visión

“Mantener el liderazgo en la prestación de servicios del sector de la industria del petróleo y gas. Este liderazgo será evaluado por sus clientes externos e internos sobre la calidad de los servicios, la eficiencia de sus procesos y el profesionalismo de sus empleados, bajo un esquema de mejoramiento continuo (Weatherford South América LLC).”²

MARCO LEGAL

“La Compañía, cuenta con más de siete años apoyando la industria del petróleo y gas en el Ecuador. Su base de operaciones, esta estratégicamente ubicada en Francisco de Orellana en el centro de las actividades hidrocarburíferas del país, a disposición de las necesidades de nuestros clientes las 24 horas del día, 365 días al año.

¹ Weatherford International. LA.

² Weatherford International. LA.

Su oficina central con sede en la ciudad de Quito, cuenta con personal profesional y técnico especializado para atender los requerimientos operativos de los servicios prestados. Sus filiales en Latinoamérica, respaldan las actividades de la Base en Ecuador, en forma rápida y eficiente, cuando las operaciones de nuestros clientes lo requieran, integrando la gama de servicios ofrecidos y el recurso humano y tecnológico de la compañía a nivel internacional.

Los Sistemas de Calidad, Seguridad y Protección Ambiental implementados bajo los estándares ISO 9000 y 14000, así como la incorporación de tecnologías de última generación satisfacen las necesidades y expectativas de nuestros clientes, en cuanto a productos y servicios, ofrecidos en nuestra base o fuera de ella. (Weatherford South América LLC).”³

MARCO ÉTICO

“Esta investigación respeta los principios éticos de la institución, de los trabajadores y de los derechos ambientales.”⁴

Y respectivamente del autor del presente proyecto.

MARCO REFERENCIAL

2. PRINCIPIOS BASICOS DEL BOMBEO MECANICO

Un yacimiento que se encuentra produciendo con levantamiento artificial por Bombeo Mecánico es un procedimiento de transferencia continua de petróleo hasta la superficie.

Por tanto la función del sistema de Bombeo Mecánico es transmitir la potencia desde superficie hasta la bomba de fondo para levantar los fluidos del yacimiento hasta la superficie. Si hay un diferencial de presión grande entre la formación y el fondo del pozo se produce un incremento en la tasa de producción.

El Sistema de Bombeo Mecánico está compuesto por un Equipo de Superficie y un Equipo de Fondo. En la figura N°01 se muestran los componentes de un sistema de Bombeo Mecánico.

³ Weatherford International. LA.

⁴ Weatherford International. LA.

La barra pulida conecta la unidad de bombeo en superficie a la sarta de varillas, es la única parte de la sarta que está visible en la superficie y es capaz de soportar el peso de la sarta de varillas y del fluido, entre sus funciones sirve de sello para que el fluido del pozo se mantenga al interior de éste.

Además la barra pulida soporta también la presión en las líneas de flujo, las mismas que conectan el cabezal del pozo con el separador.

2.1.1.Unidad Motriz

La función principal de la unidad motriz es suministrar la potencia necesaria que el sistema de bombeo mecánico necesita. Los HP del motor dependen de la profundidad, nivel de fluido, velocidad de bombeo y balanceo de la unidad.

Por otro lado tenemos que la unidad motriz afecta el consumo de energía y las cargas de la caja de engranaje.

La mayor parte de las unidades motrices usadas en sistemas con Bombeo Mecánico son motores eléctricos, y por otro lado los motores a gas son utilizados en locaciones sin electricidad.

La mayoría de las unidades en el Ecuador han sido instaladas con una unidad motriz a base de electricidad, pero también tenemos unidades instaladas con motores de combustión interna a gas en el pozo Guanta 16 de Petroamazonas.

2.1.1.1. Motores Eléctricos

La mayoría de las unidades de bombeo de varilla es accionada por un motor eléctrico. Las razones son el relativo bajo costo, fácil control, y adaptabilidad para la operación automática. Generalmente, los motores eléctricos de bombeo mecánico son motores de inducción de tres fases. O llamados también trifásicos.

Los motores eléctricos utilizados para el servicio de bombeo se designan por NEMA (National Electrical Manufacturers Association) que clasifica los motores según el deslizamiento y las características de torque durante el arranque. Estos pueden ser de tipo B, C y motores D.

El porcentaje de deslizamiento es definido como:

$$S = \frac{(S_g - S_{fl})}{S_g} \times 100$$

S= Porcentaje de deslizamiento

S_g= Velocidad de Sincronía del motor (usualmente 1200 rpm)

Sfl= Velocidad para cargas completas

La variación de velocidad es diferente del deslizamiento y se define como:

$$S_{var} = \frac{(S_{max}-S_{min})}{S_{max}} \times 100$$

S var = Porcentaje de variación de velocidad

S máx = Deslizamiento máximo

S mín = Deslizamiento mínimo

De esto tenemos que:

NEMA D es el motor de unidad de bombeo más ampliamente reconocido. El rango de deslizamiento va desde 5% hasta 13% y par de arranque 275% de full carga esfuerzo de torsión.

NEMA C posee un máximo deslizamiento de 5% y el par de arranque 200 a 250% de par a plena carga.

NEMA B posee un máximo deslizamiento de 3% y el par de arranque 100 a 175% del par a plena carga.

2.1.1.2. Motores de Ultra Alto Deslizamiento

Son motores eléctricos especiales que poseen deslizamiento mayor a 13%. Y son diseñados para variaciones de velocidad altas y pueden ayudar a reducir los torques picos en la caja de engranaje y las cargas de las varillas.

Pueden ser calibrados de diferentes modos dependiendo del deslizamiento y torque, en el arranque deseado.

2.1.1.3. Motores a Gas

Existen dos tipos de motores a gas:

Motores de baja velocidad con uno o dos cilindros.- Son aquellos que tienen velocidades de 700 rpm o menores y alto torque.

Motores Multicilindros de alta velocidad.- Son aquellos que pueden tener altas variaciones de velocidad (hasta un 35%) más que los motores de baja velocidad.

Los motores de gas típicamente queman gas rentado y por tanto son más económicos en comparación de los motores eléctricos. Sin embargo, los costos de capital y el mantenimiento de estos motores son usualmente más altos que los de motores eléctricos.

Los motores a gas son principalmente utilizados en locaciones remotas que no tienen disponibilidad de energía eléctrica.

2.1.2. Unidades de Bombeo en Superficie

De Acuerdo con las especificaciones API las unidades de bombeo están designadas de la siguiente manera como se indica en la Figura N°02:

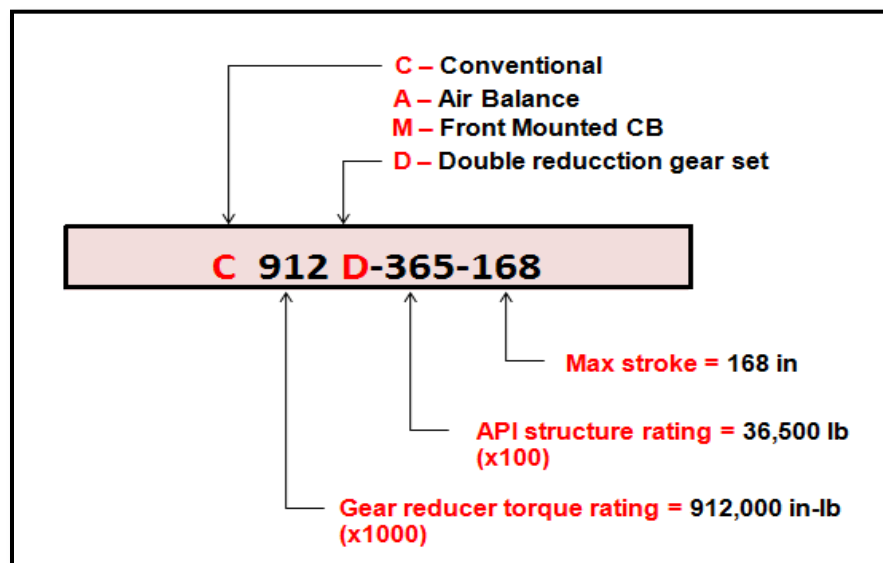


Figura N° 02.- Designación de las Unidades de Bombeo de acuerdo a la API

Fuente: Weatherford International LA

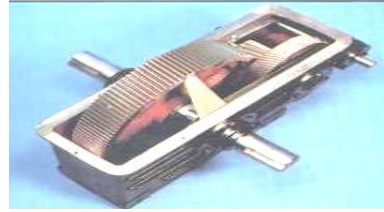
Realizado por: Melina Estrada B.

2.1.3. Caja de Engranaje

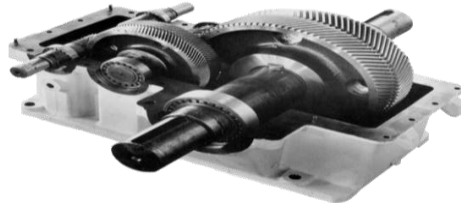
La caja de engranaje o reductor de engranaje es el corazón de la unidad de bombeo y representa el 50% del costo de la unidad de bombeo. En la Figura N°03 se pueden ver algunos diseños de cajas de engranaje utilizados actual y frecuentemente en el mercado.



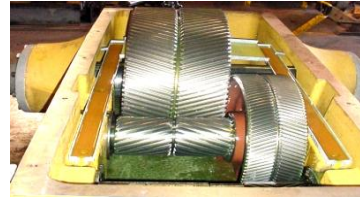
Split Double Helical



Bathtub Single Helical



Split Herringbone



Bathtub Herringbone

Figura N°03.- Diseños de la Caja de Engranaje

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

La función principal de la caja de engranaje es convertir torques bajos y altas velocidades (rpm) de la unidad motriz, en altos torques y bajas velocidades (rpm) necesarias para operar la unidad de bombeo. Una reducción típica de una caja de engranaje es 30:1. Esto significa que la caja de engranaje reduce las velocidades (rpm) a la entrada 30 veces, mientras intensifica el torque de entrada 30 veces. En la tabla N°01 se puede observar como es el diseño de una caja de engranaje.

Diseño de la caja	Diseño de Engranaje
Split: facilidad de servicio	Helicoidal Doble (API)
Bathtub: menos fugas	Espina de Pescado (API)
	Helicoidal Simple (API)

Tabla N° 01.- Diseño de la Caja de Engranaje

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

Realizado por: Melina Estrada B.

2.1.4. Contrapesos

Los contrapesos, ayudan a que el tamaño de la caja de engranaje pueda ser minimizado, ya que los contrapesos reducen el torque que la caja debe suministrar.

Durante la carrera ascendente, las contrapesas se encargan de proporcionar energía a la caja de engranaje cuando caen.

Durante la carrera descendente estos almacenan energía cuando suben. (Ver figura N°04).



Figura N° 04.- Diagrama de un Balancín Convencional con Contrapesos
Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

“La condición operacional ideal es igualar el torque en la carrera ascendente y descendente usando la cantidad correcta del torque o momento en el contrabalanceo”.⁵

2.1.5. Barra Pulida

La barra pulida es una barra de acero maciza disponible en diferentes tamaños y longitudes estándar, que se encuentra equipada con conexiones adecuadas en ambos extremos. Conecta la unidad de bombeo a la sarta de varillas y es la única parte de la sarta que está visible en la superficie.

La función principal de la barra pulida es soportar el peso de la sarta de varillas, bomba y fluido. Por lo tanto, la barra pulida experimenta cargas más altas que cualquier otra parte de la sarta. Además otra función de la barra pulida es de actuar como sello para evitar la filtración de los fluidos del pozo.

2.1.6. Empacaduras del Prensa Estopa

Las empacaduras del prensa estopa son empaques como su nombre mismo lo dice que son ajustadas para prevenir fugas en el cabezal. (Ver figura N°05).



Figura N° 05.- Diagramas de un Prensa Estopa
Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

⁵ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

Pero asimismo; se debe tener cuidado, ya que si se ajustan demasiado, podrían incrementarse las pérdidas de potencia en la barra pulida y podría resultar en una mala interpretación de la carta dinagráfica, ya que se produciría una distorsión de las cargas sobre la barra pulida.

2.1.7. Líneas de Flujo

“Las líneas de flujo son aquellas que conectan el cabezal del pozo con el separador.

Las altas presiones en la línea de flujo pueden resultar en altas cargas en la barra pulida y por consecuencia una baja en la eficiencia. Estas cargas adicionales en la barra pulida también dependerán del diámetro del pistón; es decir, mientras más grande sea el tamaño del pistón, más grande será el efecto de la presión de la línea de flujo en el sistema.”⁶

2.1.8. Válvula de Contrapresión

Se encarga de minimizar el bloqueo por gas y además evita la deposición de parafinas en la tubería de producción debido al mantenimiento de una presión estable que evita la liberación de gas.

Para mantener la contrapresión deseada utiliza la fuerza del resorte, garantizando la tubería llena de fluido de producción sin gas libre, por lo que asegura la lubricación del vástago, con el consiguiente ahorro de empaquetaduras de prensa estopa. (Ver figura N°06)



Figura N° 06.- Válvula de Contrapresión o Pressure Back
Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

En pozos con exceso de gas tendrá que instalarse un orificio o pressure back en la línea de flujo con esto se evita el “cabeceo” o interrupción de la producción.

⁶ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

2.2. EQUIPOS DE FONDO

La sarta de varillas es la conexión entre la unidad de bombeo instalada en superficie y la bomba de subsuelo. Transmite un movimiento reciproco vertical a la bomba para el levantamiento del fluido.

Una bomba de varillas es un arreglo embolo-cilindro. El pistón tiene una válvula de bola y otra de asiento llamado válvula viajera, ya que ésta viaja hacia arriba y hacia abajo con el pistón. A la entrada del barril de la bomba existe otra válvula llamada válvula fija que está fijada a la tubería y que permite el ingreso del fluido al barril.

Cuando el pistón comienza el movimiento hacia arriba, la válvula viajera cierra y levanta las cargas del fluido. Esto genera un vacío en el barril de la bomba que causa la apertura de la válvula fija permitiendo que el fluido proveniente del yacimiento llene la bomba.

En cambio cuando el pistón comienza a moverse hacia abajo, la válvula fija se cierra y el fluido en el barril de la bomba empuja la válvula viajera abriéndola. El pistón viaja a través del fluido que se ha desplazado hacia la bomba durante la carrera ascendente. Luego el ciclo se repite.

2.2.1. Sarta de Varillas

La sarta de varillas es aquella encargada de conectar la unidad de bombeo instalada en superficie y la bomba de subsuelo.

Transmite un movimiento reciproco vertical a la bomba para el desplazamiento del fluido. Por lo general son productos de acero y por tanto poseen propiedades de masa y elasticidad.

Las principales funciones de la sarta de varillas en el sistema de bombeo mecánico son: transferir energía, soportar las cargas y accionar la bomba de subsuelo.

“Las dimensiones generales que tienen las varillas son:

- Son construidas en longitudes de 25-pies o de 30-pies.
- Las secciones cortas de varillas (Pony Rod) se las encuentra disponibles en longitudes de 2, 4, 6, 8 y 10 pies.
- Poseen conexiones de rosca pin en ambos extremos
- Para notar los tamaños de las varillas se van incrementando en 1/8-pulg., empezando con 5/8 pulg.; la varilla más grande es = 1-1/4 pulg.”⁷

⁷ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

En la figura N°07 se puede observar cómo está catalogada una varilla de acuerdo a las especificaciones API. Así mismo se observa en la tabla N°02 las diferentes especificaciones API.

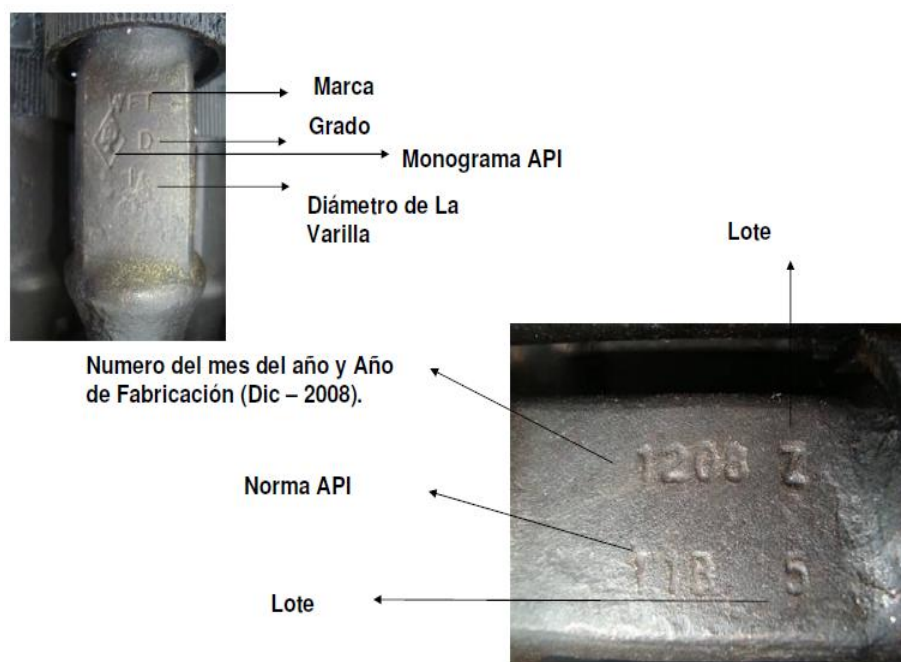


Figura N° 07.- Catalogación de las Varillas

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

			CUELLO (DIAM.EXT.)		TAMAÑO TUBERÍA MÍN.	
DIAMETRO	PESO	AREA	NORMAL	ESPECIAL	NORMAL	ESPECIAL
Pulg.	Lbs/pie	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.
1/2	0,726	0,1964	-	1	-	1,66
5/8	1,135	0,3068	1,5	1,25	2 1/6	1,99
3/4	1,634	0,4418	1,625	1,5	2 3/8	2 1/16
7/8	2,224	0,6013	1,813	1,625	2 7/8	2 3/8
1	2,904	0,7854	2,188	2	3 1/2	2 7/8
1 1/8	3,676	0,994	2,375	-	3 1/2	

Tabla N° 02.- Especificaciones API para la fabricación de varillas

Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. Enterprise Inc.

Realizado Por: Melina Estrada B.

De acuerdo a las especificaciones de la API (American Petroleum Institute), las varillas de acero sólido es el tipo de varillas más utilizado y ha sido estandarizada por la API (American Petroleum Institute).

En la tabla N°03 se puede ver las propiedades químicas que poseen las varillas comúnmente utilizadas en el mercado y que están especificadas por las normas API.

GRADO	AISI	% CARBÓN	% MANGANESO	% SILICON	(Máx. %) Fósforo	(Máx. %) Sulfuro	% Niquel	% Cromo	% Molibdeno
K	4623	0,20 - 0,25	0,75 - 1,0	0,20 - 0,35	0,035	0,04	1,65 - 2,0	0,25 (máx.)	0,20 - 0,30
C	1536 SR	0,30 - 0,37	1,2 - 1,5	0,20 - 0,30	0,040	0,04	0,25 (máx.)	0,25 (máx.)	0,05 (Máx.)
MD56	1541 MV	0,40 - 0,44	1,35 - 1,55	0,15 - 0,30	0,035	0,04	0,25 (máx.)	0,25 (máx.)	0,05 (Máx.)
D	4142SR	0,40 - 0,45	0,75 - 1,0	0,15 - 0,30	0,035	0,04	0,25 (máx.)	0,80 - 1,10	0,15 - 0,25
KD63	4720SR	0,19 - 0,23	0,85 - 1,05	0,15 - 0,35	0,035	0,04	0,90 - 1,20	0,80 - 1,05	0,22 - 0,30
T66/XD	4138M	0,38 - 0,42	1,0 - 1,3	0,20 - 0,35	0,035	0,04	0,3 (máx.)	0,55 - 0,85	0,24 - 0,32
EL	Special	0,38 - 0,42	1,0 - 1,3	0,20 - 0,35	0,035	0,04	0,3 (máx.)	0,55 - 0,86	0,24 - 0,32

Tabla N° 03.- Propiedades Químicas de las Varillas

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

Realizado por: Melina Estrada B.

Las Varillas de Alta Resistencia son utilizadas para cargas extra pesadas en pozos que son extra profundos.

Los tipos más comunes de varillas que existen en el mercado son las COROD (continua). Las varillas continuas (COROD) fueron diseñadas sin uniones para eliminar totalmente las fallas en el pin y la caja para sí incrementar la vida de la sarta. Las varillas en la sarta se encuentran unidas por cuplins, los mismos que hacen que éstas se ajusten una a una en la sarta por medio de roscas. En la figura N°08 se observan algunos modelos de cuplin utilizados en la actualidad.



Figura N° 08.- Couplin de las varillas

Fuente: Weatherford International. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF

2.2.2. Tubería de Producción

“La tubería de producción es aquella encargada de conducir todo el fluido que está en fondo y que es levantado por la bomba de subsuelo.”⁸

2.2.3. Unidades de Bombeo en Fondo

2.2.3.1. Bombas de Subsuelo

Las bombas de subsuelo trabajan con el principio de desplazamiento positivo. En la figura N°09 se muestran modelos de las bombas de subsuelo diseñadas por la empresa Weatherford y que son utilizadas en pozos con bombeo mecánico.



Figura N° 09.- Bombas de Subsuelo

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

Una bomba por varillas de succión en pocas palabras es un arreglo embolo-cilindro. En campos petroleros la terminología del émbolo es llamado pistón y el cilindro se le conoce como barril de la bomba.

El pistón tiene una válvula de bola y otra de asiento llamado válvula viajera, ya que ésta viaja hacia arriba y hacia abajo con el pistón.

⁸ Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005

A la entrada del barril de la bomba existe otra válvula llamada válvula fija que está fijada a la tubería y no se mueve porque se encuentra atrapada en una cámara pequeña de la tubería, sin embargo ésta válvula se encarga de hacer que el fluido ingrese al barril de la bomba. (Ver Figura N°09).

2.2.3.2. Clasificación de las Bombas

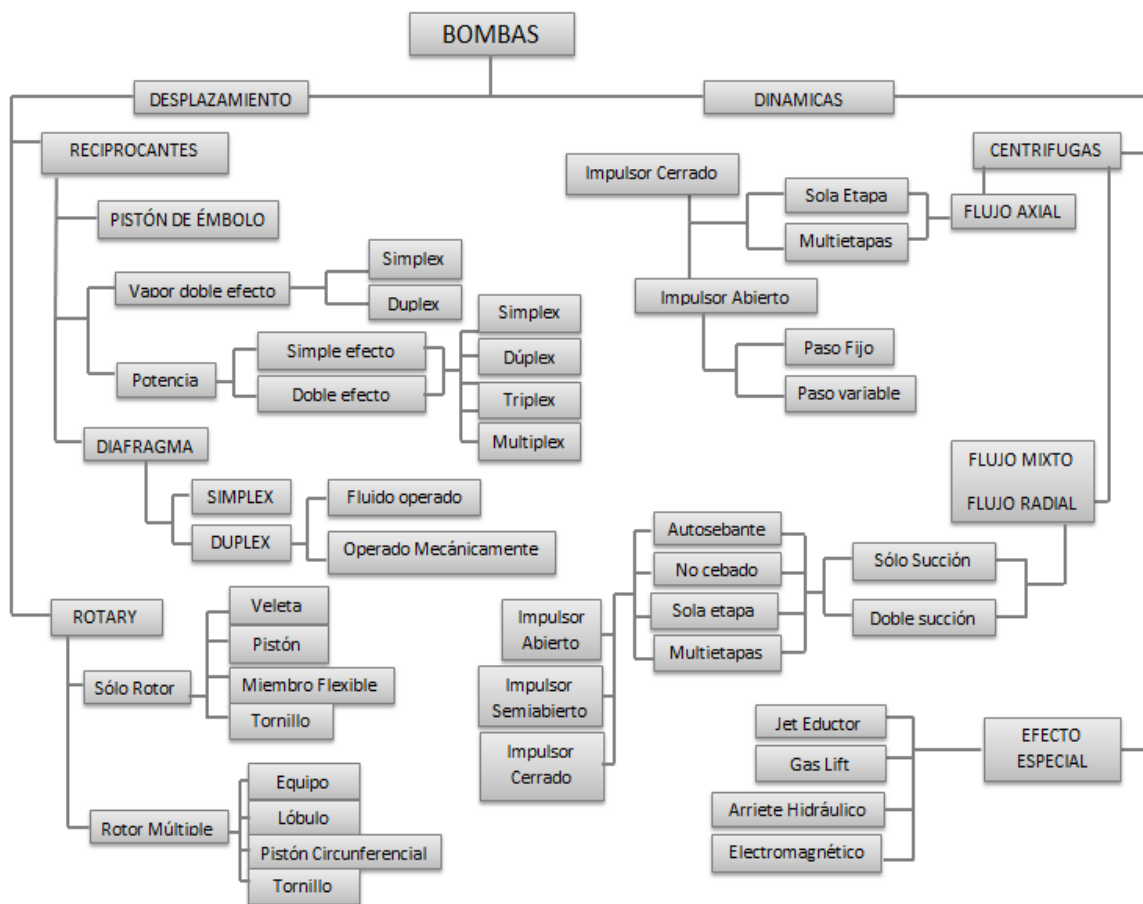


Gráfico N° 01.- Clasificación de las Bombas de Subsuelo
 Fuente: Kermit E. Brown. *The Technology of Artificial Lift Methods*
 Realizado por: Melina Estrada B.

“Las bombas de subsuelo son componentes significativos del sistema de Bombeo Mecánico. El tamaño del pistón de la bomba determina la tasa de producción, cargas en las varillas y cargas en todos los componentes del sistema. Como aditamento a las cargas en las varillas y a la unidad de bombeo, la vida de la bomba afecta a la rentabilidad del pozo.”⁹

Si los componentes de la bomba se desgastan, la eficiencia de todo el sistema se reduce; y la selección de la bomba adecuada incrementa la eficiencia del sistema extendiendo la vida del equipo.

⁹ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

Existen básicamente dos tipos de bombas y que son las más utilizadas en el mercado:

1. De tubería

2. Insertables

En la Figura N°10 se muestran los componentes básicos de las diferentes bombas de tubo e insertables.

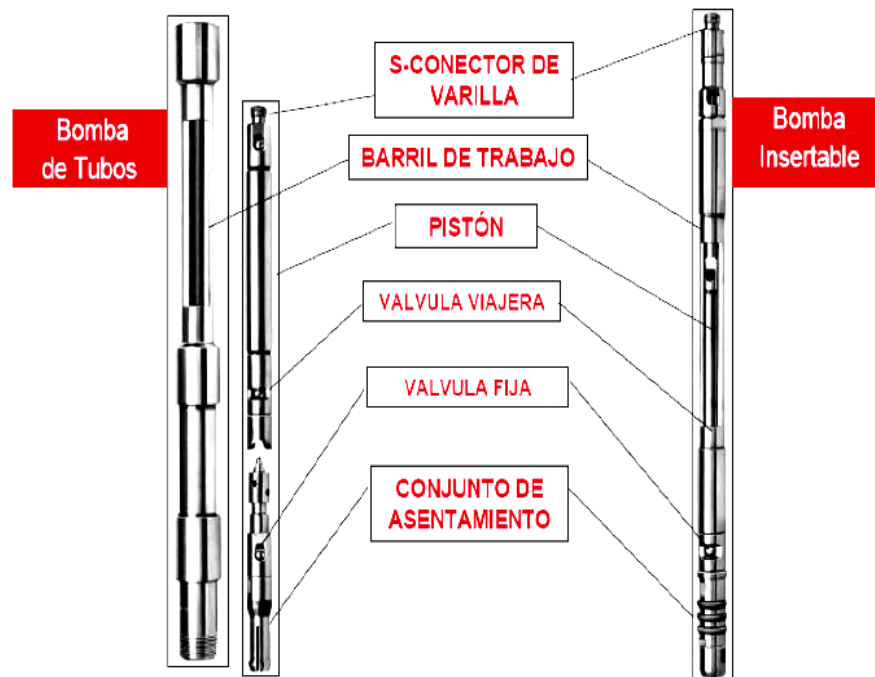


Figura N° 10.- Componentes Básicos de la Bomba de Tubo y de la Bomba Insertable

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Lift System. Presentación Power Point M. Monroy

Indiferentemente del tipo, las bombas de subsuelo tienen los siguientes componentes principales:

1. El pistón
2. El barril
3. La válvula viajera
4. Válvula fija

2.2.3.2.1. Pistones

Proveen el movimiento, y actúan como sello de alta presión para la bomba. La presión diferencial a través de esta superficie sellante solamente está presente cuando la válvula viajera está cerrada. (Ver Figura N°11).

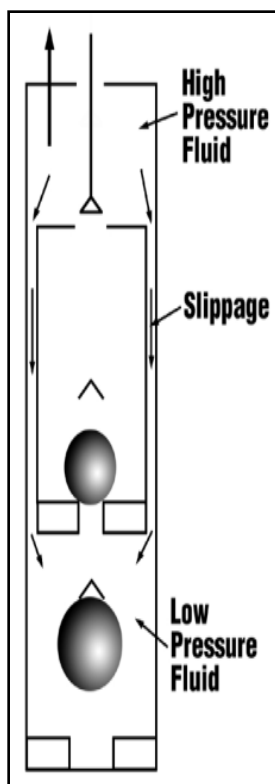


Figura N° 11.- Diagrama del Funcionamiento de un Pistón

Fuente: Weatherford International. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF

El pistón se encuentra conectado a la sarta de varillas; es hueco, así el fluido producido viaja por el interior, además se encarga de sostener la jaula de la válvula viajera.

Existen dos tipos de pistones: metal-metal y empaque suave.

“Los Pistones de empaque suave son menos costosos al momento de comprar o repararlos. Sin embargo, estos no son tan eficientes como los de metal-metal y no pueden bombear en pozos profundos.”¹⁰

▪ Pistones de Empaque Suave

Los pistones de empaque suave pueden ser por igual de tipo copa o tipo anillo, o una combinación de ambos.

Pistones Tipo Copas.- Los pistones tipo copa usan la presión del fluido para expandirse en la carrera ascendente y proveer el sello entre el pistón y el barril. Estos son típicamente usados en pozos de menos de 3000 pies.

¹⁰ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

Pistones Tipo Anillo.- Pueden usarse pistones tipo anillo para lograr fits pequeños entre el pistón y el barril de la bomba. Estos pistones son más comunes que los de tipo copa debido a que son los apropiados para profundidades de hasta 7000 pies.

Estos pistones son excelentes para pozos con altos cortes de agua y con problemas de corrosión.

- **Pistones Metal - Metal**

“Estos son usados en pozos profundos o en pozos que producen sin sólidos. Debido al pequeño espacio entre el pistón y el barril (clearans desde 0.001 hasta 0.005), los pistones de metal permiten eficiencias de la bomba más altas que los de empaque suave.”¹¹

2.2.3.2.2. Barril de la Bomba

Tanto el barril y el émbolo de una bomba de varilla son tubos simples, mecanizados y pulidos. El espacio libre entre el émbolo y el barril representa unos pocos miles de pulgadas y son denominados clearans. Los barriles pueden ser de pared gruesa o de pared delgada. Los barriles de pared delgada son utilizados en pozos poco profundos debido a la capacidad limitada de las paredes a los esfuerzos. Los barriles de pared gruesa son utilizados en pozos más profundos o bombas de diámetro grande que necesitan soportar grandes cargas de fluido. La profundidad máxima de asentamiento depende del tipo de bomba. (Ver Figura N°12).



Figura N° 12.- Barriles de Pared Delgada y Pared Gruesa
Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping Equipment

Los barriles de pared gruesa generalmente poseen un espesor de pared de 6,4 mm y por otro lado los barriles de pared delgada son de aproximadamente 3,2 mm de espesor.

Los barriles son fabricados en longitudes estándar de hasta 24 pies (7,3 m).

¹¹ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

2.2.3.2.3. Válvula Viajera y Válvula Fija

La válvula viajera y la válvula fija (partes importantes que conforman las bombas de subsuelo) son combinaciones bolas y asiento. El ensamblaje bola y asiento está en una jaula que permite el flujo de fluidos mientras mantiene la bola en posición de ser asentada apropiadamente. (Ver Figuras N°13 y N°14).



1. Jaula con guías insertables
2. Jaula con guías reforzadas

Figura N° 13.- Tipos de Jaulas Válvula Fija

Fuente: Weatherford International. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF

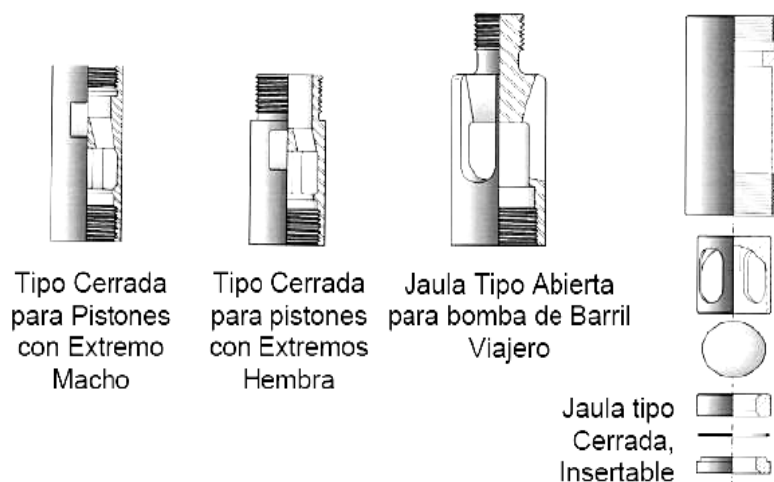


Figura N° 14.- Tipos de Jaulas Válvula Viajera

Fuente: Weatherford International. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF.

Dependiendo de las condiciones del pozo podría ser necesario usar materiales diferentes para alargar la vida útil de las bolas y asientos. Así tenemos:

- En pozos con ambientes poco agresivos, sin producción de arena, considerando sus bajos costos se pueden utilizar bolas y asientos de acero inoxidable.
- En pozos cuando hay producción de fluidos abrasivos, podrían necesitarse bolas y asientos de carbono o cerámica para extender la vida de la bomba.
- En pozos con problemas severos de abrasión como producción excesiva de arena, las bolas de cerámica en asientos de carbono incrementan la vida de la bomba. Pero son considerablemente más costosas que las convencionales.

▪ **Acción de la Válvulas**

La acción de las válvulas durante la carrera ascendente y descendente es muy importante conocer, para poder saber cómo las cargas de fluido son aplicadas al pistón de la bomba y la sarta de varillas. Esto también es necesario para entender cómo influye la carga sobre las varillas, la forma de la carta dinográfica y el comportamiento de las varillas de succión. Las válvulas son consideradas el corazón de la bomba. (Ver figura N°15)



Figura N° 15.- Válvulas Viajeras

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping (Power Point).

Carrera Ascendente: Cuando el pistón comienza el movimiento hacia arriba, la válvula viajera cierra y levanta las cargas del fluido. Esto genera un vacío en el barril de la bomba que causa la apertura de la válvula fija permitiendo que el fluido proveniente del yacimiento llene el barril. (Ver figura N°17).

Carrera Descendente: Cuando el pistón comienza a moverse hacia abajo, la válvula fija se cierra y el fluido en el barril de la bomba empuja la válvula viajera abriéndola. El pistón viaja a través del fluido que se ha desplazado hacia la bomba durante la carrera ascendente. Luego el ciclo se repite. (Ver figura N°16)

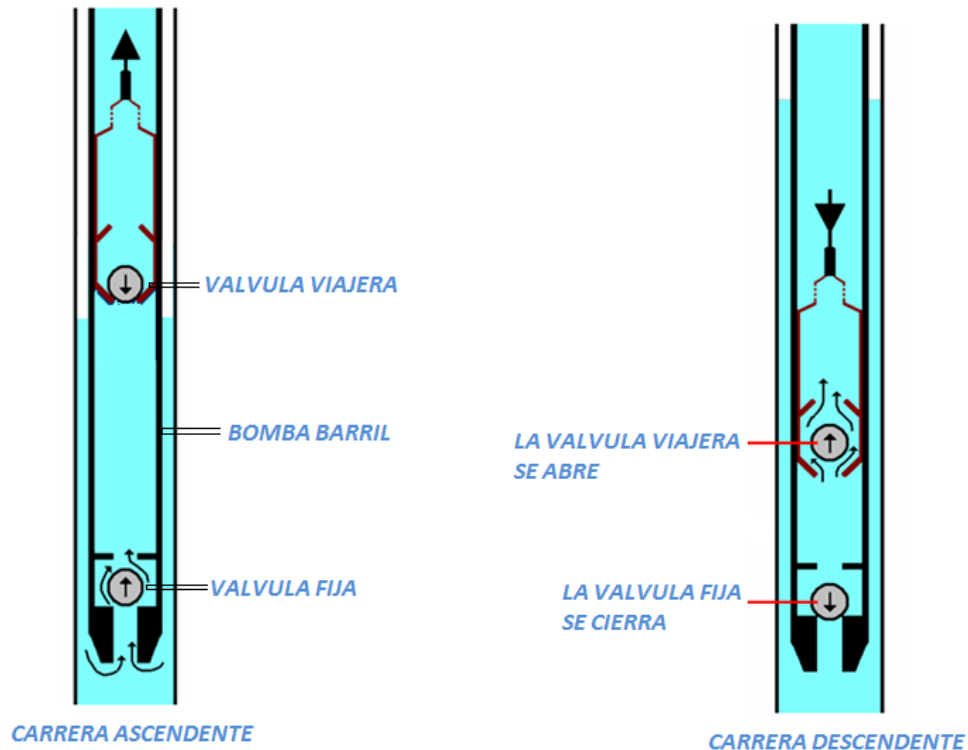


Figura N° 16.- Diagrama simplificado de las Bombas de Varillas.
Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc.
Realizado Por: Melina Estrada B.

Para un caso ideal de bomba llena con fluido incompresible, en la carrera ascendente la válvula viajera cierra, la válvula fija abre y el fluido comienza a ser bombeado a través de la tubería hasta la superficie.

En la carrera descendente, la válvula viajera abre y la válvula fija cierra. Sin la acción de las válvulas, la producción no sería posible. Por tanto:

Si la válvula fija no se abre, el fluido no entrará a la bomba.

Si la válvula viajera no se abre entonces el fluido no entrara a la tubería.

▪ Cargas de Fluido

Para conocer como las cargas de fluido son aplicadas al pistón de la bomba y la sarta de varillas hay que tomar en cuenta tres parámetros importantes que son: la carga sobre las varillas, la forma de la carta dinamométrica y el comportamiento de las varillas de succión. (Ver Figura N°17).

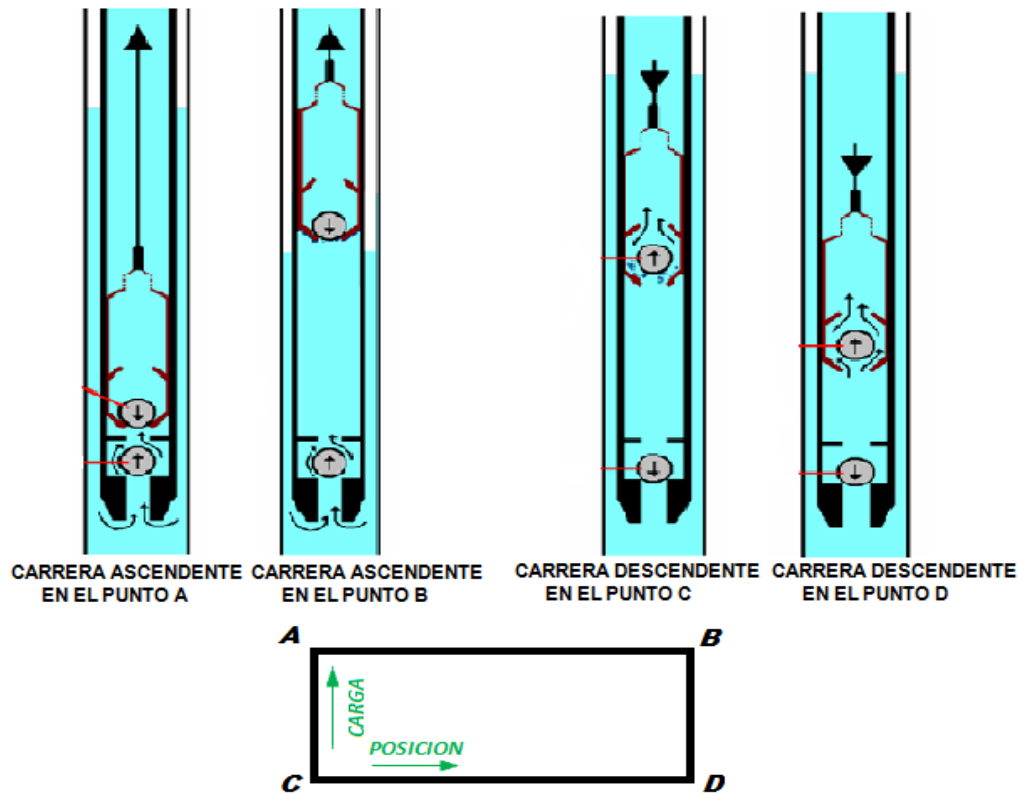


Figura N° 17.- Carga de fondo del Pistón vs Posición para la bomba llena
Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc.
Realizado Por: Melina Estrada B.

Una carta dinamométrica es un gráfico de carga versus posición.

En el gráfico anterior se observó cómo sería la carta dinamométrica de la bomba para el caso de bomba llena.

Carrera Ascendente: Al comienzo de la carrera ascendente, y de acuerdo a la figura N°18 la válvula viajera se cierra en el punto A. En este punto la válvula viajera levanta las cargas del fluido.

Dichas cargas permanecen constantes durante el recorrido ascendente del punto A hasta B.

Carrera Descendente: En la carrera descendente, en el punto C cuando el pistón comienza el movimiento hacia abajo, la válvula viajera se abre. En este punto la válvula viajera se libera de la carga de fluido y la presión del mismo se transfiere a la tubería a través de la válvula fija.

Por tanto desde C a D, la válvula viajera no lleva la carga de fluido durante la carrera descendente.

Las diferencias de carga entre los puntos A y D o B y C son las cargas del fluido en el pistón.

Observando la figura N°17. Las cargas de fluido son transferidas instantáneamente desde D hasta A y desde B hasta C. Esto es verdad solo al asumir incompresibilidad del fluido y bomba llena. Algunas veces tal como cuando pozos con alta producción de gas son bombeados, la transferencia de cargas de fluido no son instantáneas.

La tasa de levantamiento de carga depende de la integridad de la bomba, el tipo de fluido bombeado, espaciamiento de la bomba, y si la tuberías está o no anclada.

2.2.3.3. Bombas de Tubería

Apropiada para pozos profundos. Es menos propensa a ruptura del barril, y posee un buen diseño de flujo. (Ver Figura N°18).



Figura N° 18.- Bombas de Tubería

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping Equipment. Power Point

Las bombas de tubería son especialmente utilizadas en pozos con altas tasas de producción en comparación con las bombas insertables. Por tanto, se pueden utilizar diámetros de pistón mayores a los usados con bombas insertables.

2.2.3.4. Bombas de Varillas (insertables)

Bombas de varillas o insertables son las más conocidas debido a que son fáciles de instalar y reparar. Existen varios tipos de bombas insertables dependiendo de las condiciones el pozo, tasa de producción, y profundidad del pozo.

- **Bombas de varillas de Anclaje Inferior.** (Puede ser utilizada en pozos profundos).
- **Bombas de varillas de Anclaje superior.** (No recomendada para pozos profundos).
- **Bomba de Barril Viajero Anclaje Inferior** (No recomendada para pozos de gas y tampoco recomendada para bombear en pozos profundos).

En las Figuras N°19 y N°20 se tienen varios modelos de varillas con los anclajes más comunes.



Figura N° 19.- Anclaje de Bombas de Varillas

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping Equipment. Power Point



Figura N° 20.- Bombas de varillas más comunes

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping Equipment. Power Point.

“Un tipo especial de bomba insertable es la bomba de revestidor. Ésta es principalmente usada en pozos someros con altas tasas de producción.”¹²

2.2.3.4.1. Ancla de Tubería y Niple de Asentamiento

El ancla de tubería es aquel que está diseñado para ser utilizado en pozos con el propósito de eliminar el estiramiento y compresión en la tubería de producción, ya que en ocasiones existe un rozamiento en la sarta de varillas, ocasionando el desgaste de ambos. En la Figura N°21 se muestran 2 tipos de anclas inferior y superior de tubería respectivamente.

¹² *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*



Figura N° 21.- Ancla Inferior y Ancla superior de tubería

Fuente: Weatherford International. Presentation Reciprocating Rod Lift System PDF

El Niple de Asentamiento o zapata es un acople de tubería diseñado especialmente para que la bomba se ajuste a la tubería y permita asentar la bomba con un fuerte sello. Puede tener un cierre mecánico o por copas de fricción. Cuando la bomba de tubería es estrecha, la válvula fija se conecta en la base del pistón.

2.2.3.4.2. Ancla de Gas

“La bomba de varillas de succión está diseñada para bombear líquido. La presencia de gas en el líquido producido reduce la eficiencia de la bomba.

En la carrera descendente, la bomba comprime el gas hasta que la presión dentro del barril sea lo suficientemente alta para abrir la válvula viajera. Dependiendo de la cantidad de gas libre, una gran parte de la carrera ascendente puede desperdiciarse en la compresión del gas antes que algún líquido sea producido.

Debido a esto, las eficiencias volumétricas menores al 50% son comunes cuando el gas entra a la bomba.”¹³ (Ver figura N°22).

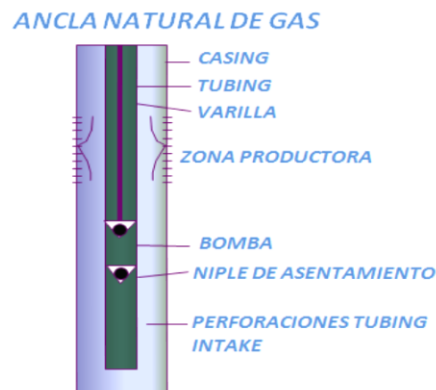


Figura N° 22.- Diagrama de un Ancla Natural de Gas

Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping Application

¹³ Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005

En la carrera ascendente, como el gas entra a la bomba, éste ocupa una gran parte del volumen de la bomba y de esta manera reduce la cantidad de líquido que puede entrar a la bomba. Las anclas de gas ayudan a reducir la cantidad de gas libre que ingresa a la bomba.

Esto ocurre al permitir la separación del gas y su flujo hacia la superficie a través del anular (espacio revestidor-tubería) antes de su entrada a la bomba.

Así mismo se tienen en la siguiente Tabla N°04 los diferentes asentamientos de acuerdo al tipo de bomba.

Anclada en el Fondo, Bomba de Pared Gruesa		
Pistón (pulg)	Espesor de la pared (pulg)	Profundidad máxima (pies)
1,00	0,125	11540
1,06	0,125	11000
1,25	0,188	13350
1,50	0,188	11570
1,75	0,250	11970
2,00	0,156	7785
2,25	0,250	10485
Anclada en el Fondo, Bomba de Pared Delgada		
2	0,125	6400
2,5	0,125	5240
Bombas de Tubería		
1,75	0,250	9600
2,25	0,250	7870
2,75	0,250	6660
Bombas de Revestidores		
2,75	0,250	6660
3,25	0,250	5770
3,75	0,250	5090
4,75	0,250	4120

Tabla N° 04.- Profundidad máxima de asentamiento de acuerdo al tipo de bomba

Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc.

Realizado por: Melina Estrada B.

2.2.3.5. Designación API para las bombas

El Instituto Americano del Petróleo (API) ha desarrollado un método para designar las bombas de subsuelo. La designación API proporciona una manera concisa par. (Ver Gráfico N°02).

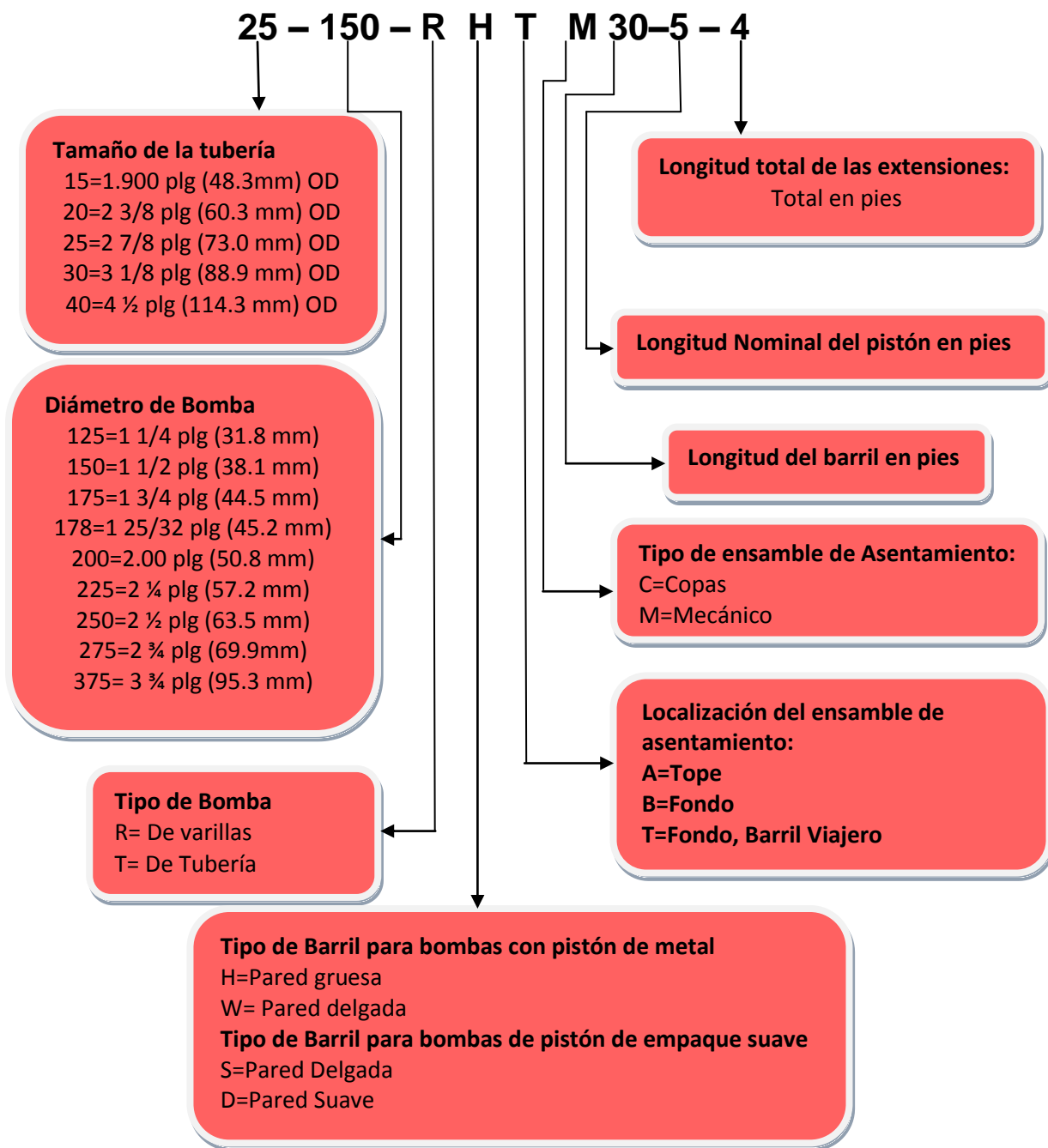


Gráfico N° 02.- Código para la designación de las Bombas API
 Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc.
 Realizado Por: Melina Estrada B.

“El Gráfico N°02 presenta mediante un ejemplo como se define el código de una bomba. En donde el código de la bomba representa una bomba de 1-1/2” y tubería de 2-7/8”. Es una bomba de cabillas insertable con barril viajero, pared gruesa, y un ensamblaje de asentamiento mecánico. El barril es de 30 pies de longitud, tiene un pistón de cinco pies, y una extensión de cuatro pies de longitud.

RHA: Varillas, Barril estacionario de pared gruesa, anclada en el tope.

RLA: Varillas, Barril estacionario, anclada en el tope.

RWA: varillas, Barril estacionario de pared delgada, anclada en el tope.

RSA: Varillas, Barril estacionario de pared delgada, anclada en el tope, pistón de la bomba tipo empacadura suave.

RHB: Varillas, barril estacionario de pared gruesa, anclada en el fondo.

RLB: Varillas, barril estacionario, anclada en el fondo.

RWB: Varillas, barril estacionario de pared delgada, anclada en el fondo.

RSB: Varillas, barril estacionario de pared delgada, anclada en el fondo, empacadura suave.

RHT: Varillas, Barril viajero de pared gruesa, anclada en el fondo.

RLT: Varillas, Barril viajero, anclada en el fondo.

RWT: Varillas, barril viajero de pared delgada, anclada en el fondo.

RST: Varillas, barril viajero de pared delgada, anclada en el fondo, empacadura suave.

TH: De tubería, barril de pared gruesa.

TL: De tubería, liner barrel puma.

TP: De tubería, barril de pared gruesa, empacadura suave.”¹⁴

En las Figuras N°23 y N°24 se tienen diferentes modelos de bombas mayormente utilizadas en la actualidad.

¹⁴ *Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005*

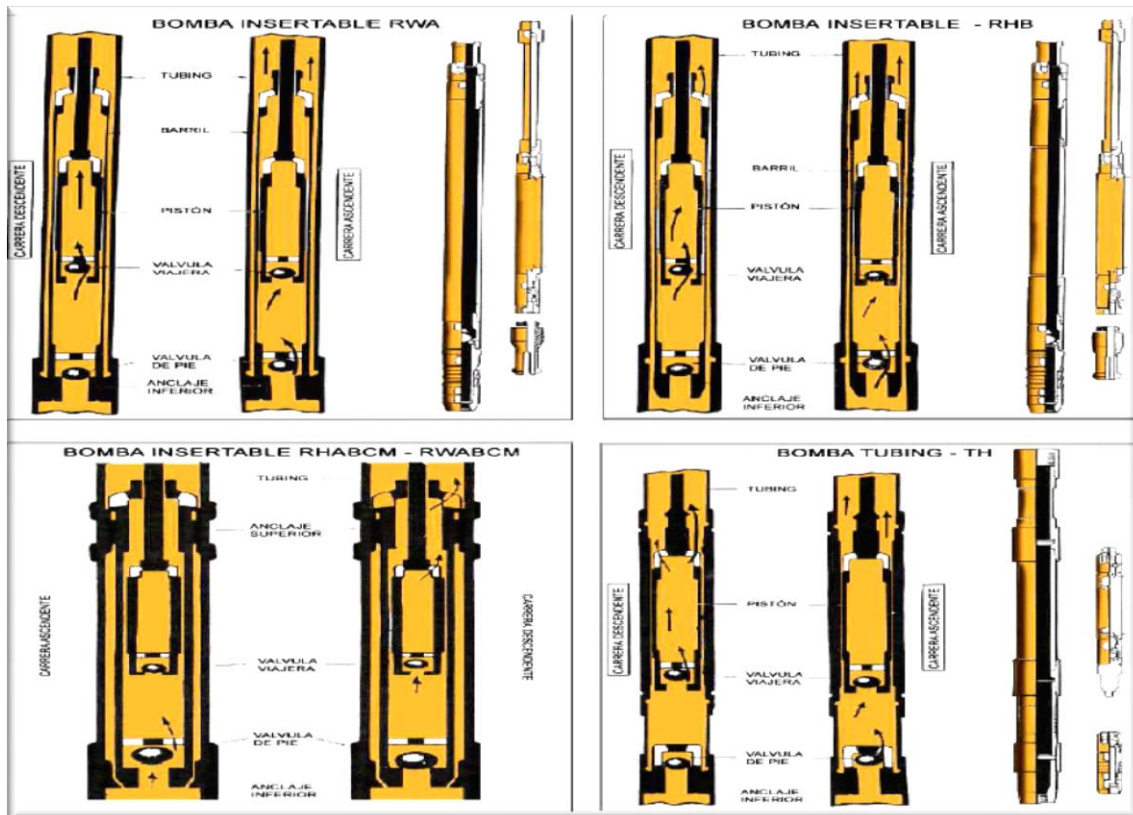


Figura N° 23.- Bombas API
Fuente: Manual de Producción - PAE – Argentina

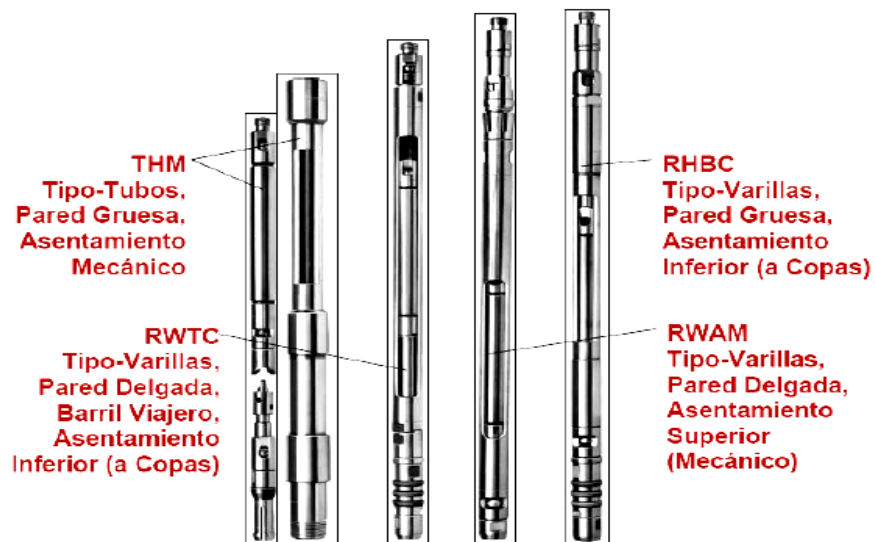


Figura N° 24.- Configuraciones de Bombas más utilizadas
Fuente: Weatherford International. Presentation Reciprocating Rod Lift System PDF.

Además en la Tabla N°05 se presentan los diferentes diámetros utilizados en las bombas de acuerdo a los diámetros de tuberías.

		DIAMETRO EXTERIOR DE LA TUBERIA (OD)					Gas	Producción de Sólidos Pesados	Comentarios sobre sólidos
Tipo de Bomba		2 3/8"	2 7/8"	3 1/2"	4 1/2"	5 1/2"	Todos los diseños susceptibles a daños por sólidos		
Anclaje Superior, Pared Delgada	RWA	1 1/2"	2	2 1/2"	3 1/4"	3 3/4"	Bueno	Bueno	
Anclaje Inferior, Pared Delgada	RWB	1 1/2"	2	2 1/2"	3 1/4"	3 3/4"	Bueno	Regular	Mejora con un Conjunto Sellador Superior
Barril Viajero Pared Delgada	RWT	1 1/2"	2	2 1/2"			Pobre	Bueno	
Anclaje Superior, Pared Gruesa	RHA	1 1/4"	1 3/4"	2 1/4"			Bueno	Bueno	
Anclaje Inferior Pared Gruesa	RHB	1 1/4"	1 3/4"	2 1/4"			Bueno	Regular	Mejora con un Conjunto Sellador Superior
Barril Viajero, Pared Gruesa	RHT	1 1/4"	1 3/4"	2 1/4"			Pobre	Bueno	
Bomba de Tubos	TH	1 3/4"	2 1/4"	2 3/4"	3 3/4"	4-3/4+	Pobre	Regular	
Bomba de Sobremedia	THOS	2-1/4+	2-3/4+	3-1/4+	4-3/4+	5-1/2+	Pobre	Regular	

Tabla N° 05.- Máximo Diámetro de la Bomba por Diámetro de Tubería
Fuente: Weatherford International. Reciprocating Rod Pumping(Power Point).
Realizado por: Melina Estrada B.

2.3. CLASES DE EQUIPOS DE BOMBEO MECÁNICO

2.3.1. Unidades de Superficie Convencionales

Las unidades de bombeo convencionales balanceadas con contrapesas son las unidades que comúnmente se usan hoy en día, especialmente en longitudes de recorrido medias y cortas.

Este tipo de unidades se utilizan en algunos pozos del oriente ecuatoriano, como por ejemplo tenemos el pozo Auca 52, que se encuentra ubicado en el campo Auca. (Ver Figura N° 25 y Ver Tabla N°06).



Figura N° 25.- Balancín Convencional Maximizer I instalado en el pozo Auca 52 del Campo Auca
Fuente: Weatherford International. LA.

MODELO	VARIADOR	MOTOR
MAXIMIZER I 912-365-168	WELL PILOT VSD 125HP/RPOC	ELECTRICO NEMA B - TRIFASICO 125 HP -1200 RPM - 60HZ

Tabla N°06.- Ejemplo de un Balancín Convencional instalado en el pozo Auca 52 del Campo Auca
Fuente: Weatherford International.LA
Realizado por: Melina Estrada

La rotación de las manivelas conectadas a los lados de las bielas provoca que el balancín pivote sobre el cojinete central, causando así que la barra pulida se mueva hacia arriba y hacia abajo a través de la conexión con el cable y cabezal.

Los contrapesos ajustables localizados en las manivelas son de un metal pesado fundido.

2.3.1.1. Unidad de Bombeo Convencional



Figura N° 26.- Balancín Convencional
Fuente: Weatherford International. LA.

Esta unidad puede alcanzar altas velocidades de bombeo, y posee bajos costos de mantenimiento.

Tiene el punto de apoyo en la mitad de la viga, puede rotar en sentido horario y antihorario con los contrapesos distribuidos balanceadamente por los Cranks.

2.3.1.2. Unidad de Bombeo Mark II



Figura N° 27.- Unidad Mark II
Fuente: Weatherford International. LA.

Es más eficiente con una alta capacidad de torque y posee un punto de apoyo en el extremo de la viga. Así mismo los contrapesos se encuentran distribuidos en el Crank y tiene una carrera más lenta, ideal para levantar crudos pesados.

2.3.1.3. Unidad Balanceada por Aire



Figura N° 28.- Unidad Balanceada por Aire
Fuente: Weatherford International. LA.

Posee un balance neumático, considerada para altas cargas. Es considerada como una unidad de altos costos de mantenimiento, ya que puede presentar problemas de fugas y además la pérdida de presión de aire en el cilindro ocasiona daños en la caja reductora.

2.3.1.4. Ventajas y Desventajas de las Unidades de Superficie Convencionales

2.3.1.4.1. Ventajas

- Fácil de operar y servicios.
- Puede cambiarse fácilmente la tasa de producción cambiando la velocidad de bombeo o la longitud de la carrera.
- Puedes disminuir la presión de entrada de la bomba para maximizar la producción.
- Usualmente es el método de levantamiento artificial más eficiente.
- Pueden intercambiarse fácilmente las unidades de superficie.
- Pueden utilizarse motores a gas si no hay disponibilidad eléctrica.
- Puede usar controladores de bombeo para minimizar golpe de fluido, costos de electricidad y fallas de cabillas.
- Puede ser monitoreado de manera remota con un sistema controlador de bombeo.
- Puedes usar modernos análisis dinamométricos de computadora para optimizar el sistema.

2.3.1.4.2. Desventajas

- Es problemático en pozos desviados.
- No puede usarse costa afuera por el tamaño del equipo de superficie y la limitación en la capacidad de producción comparado con otros métodos.
- No puede manejar producción excesiva de arena.
- La eficiencia volumétrica cae drásticamente cuando se maneja gas libre
- Las tasas de producción caen rápido con profundidad comparada con otros métodos de levantamiento artificial.
- No es oportuno en áreas urbanas.

2.3.2. Unidades No Convencionales

2.3.2.1. Unidad Rotaflex

“La unidad Rotaflex es una unidad de bombeo de carrera larga diseñada para ser usada con bombas a pistón. Con la tecnología e innovaciones en su diseño permiten a ésta unidad de bombeo ofrecer un bombeo eficiente y rentable en pozos profundos, complejos y de alto caudal.”¹⁵ En la Figura N°29 se

¹⁵ Weatherford International.LA. *Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF*

muestra una fotografía de una unidad Rotaflex instalada en el pozo Yulebra 08 del Campo Auca y en la Tabla N°07 se observan las características de la unidad.



Figura N° 29.- Modelo de Unidad Rotaflex instalada en el pozo Yulebra 8 del Campo Auca

Fuente: Weatherford International. LA

MODELO	VARIADOR	MOTOR
PUMP 25 - 200 RHBM 30-5 HOLLOW TWO STAGE W / STP	40 – 100 HP DE POTENCIA	ELECTRICO NEMA B - TRIFASICO 40-100 HP -1200 RPM - 60HZ

Tabla N° 07.- Ejemplo de un Balancín Convencional instalado en el pozo Yulebra 08 del Campo Auca.

Fuente: Weatherford International.LA

Realizado por: Melina Estrada B.

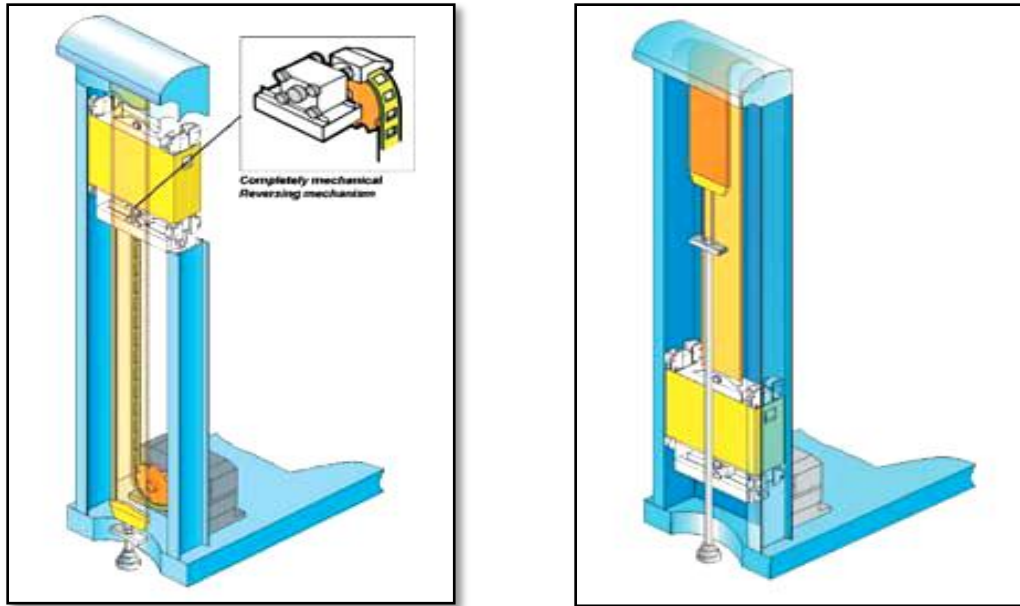
“Con la unidad Rotaflex, se pueden utilizar bombas a pistón en pozos donde antes solo operaban bombas electrosumergibles o hidráulicas.

Su larga carrera de hasta 30,5 pies posee la posibilidad de trabajar a muy bajos ciclos por minuto permiten un completo llenado de la bomba y una menor carga dinámica.

Los gráficos dinamométricos en los pozos operando con una unidad Rotaflex son similares a un gráfico de carga ideal en teoría.”¹⁶

En la Figura N°30 se puede observar cómo se mueven las cargas en una unidad Rotaflex.

¹⁶ Weatherford International.LA. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF



CARRERA ASCENDENTE

CARRERA DESCENDENTE

Figura N° 30.- Carrera Ascendente y Descendente de una Unidad Rotaflex.

Fuente: Weatherford International Reciprocating Rod Pumping.

El bombeo con la unidad Rotaflex reduce la carga estructural sobre el equipo, alargando la vida útil de la instalación de fondo de pozo, ya que la sarta de varillas de bombeo trabaja a velocidades relativamente constantes.

2.3.2.1.1. Características Importantes de una Unidad Rotaflex

“Una de las características importantes de éste sistema de bombeo es su longitud de carrera y por lo tanto es mucho más eficiente en comparación con otras unidades de bombeo, debido a que una longitud de carrera más larga genera un mayor coeficiente de compresión en la bomba, minimizando así los problemas de bloqueo por gas.

Los ahorros de los costos de energía de ésta unidad oscilan entre un 15 y un 25 por ciento. Además tenemos otras características que destacan a ésta unidad:

- La velocidad constante y una menor cantidad de ciclos por minuto alargan la vida útil de la unidad de bombeo, de la bomba de fondo de pozo y de la sarta de varillas.
- La longitud de carrera da lugar a menos ciclos y movimientos de reversa, lo que otorga mayor eficiencia y confiabilidad en el sistema.
- Su larga carrera y la posibilidad de trabajar a muy bajos ciclos por minuto permiten un completo llenado de la bomba y una menor carga dinámica.

- Una longitud de carrera más larga genera un mayor coeficiente de compresión en la bomba, lo que minimiza los problemas de bloqueo por gas.
- La banda de carga para servicio pesado que conecta el sistema de potencia con la sarta de varillas de bombeo, actúa como amortiguador de choques, lo que reduce eficazmente la fatiga de todo el sistema, alargando su vida útil.
- El pequeño radio de la corona, reduce notablemente la demanda de torque necesaria y permite el uso de un motor y de un reductor de engranaje más pequeños, y por consiguiente son más económicos de operar.”¹⁷

2.3.2.1.2. Partes importantes de la Unidad Rotaflex

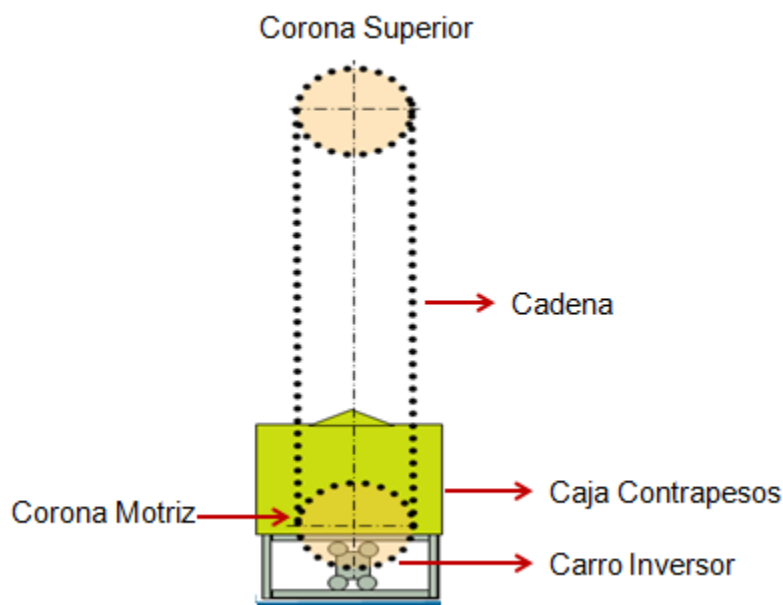


Figura N° 31.- Carrera Ascendente y Descendente de una Unidad Rotaflex.
Fuente: Weatherford International Reciprocating Rod Pumping.

2.3.2.1.3. Principales Aplicaciones de la Unidad Rotaflex

- Pozos de alto caudal y alta carga dinámica
- Pozos desviados y horizontales
- Pozos con alta frecuencia de intervención por problemas de fondo
- Operaciones que requieren de ahorro de energía

¹⁷ Weatherford International.LA. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF

2.3.2.1.4. Especificaciones de una Unidad Rotaflex

En la siguiente tabla se muestran cada una de las especificaciones de acuerdo a los diferentes modelos de una unidad Rotaflex, (Ver Tabla N°08).

Modelo	900	1100	1150	1151
Torque del reductor (pulg/libra-pie, N•m)	320.000 36,16			420.000 47,45
Longitud de carrera (pulg/m)	288 7,3	306 7,8	366 9,3	
Capacidad maxima de tiro (lb/kg)	36.000 16.329	50.000 22.680		
Velocidad máxima* (ciclos por minuto)	4,50	4,30	3,64	3,75
Velocidad mínima (ciclos por minuto)	No hay mínimo absoluto			
Contrapeso mínimo (lb/kg)	9.400 4.264	9.800 4.445		
Contrapeso auxiliar adicional (lb/kg)	21.980 9.969	30.200 13.698		
Contrapeso total (lb/kg)	31.380 14.234	40.000 18.144		
Dimensiones de la unidad, profundidad × frente × alto (pie/m)	21,8 × 7,8 × 40,5 6,64 × 2,38 × 12,34	23,8 × 8,5 × 44,5 7,25 × 2,59 × 13,56	23,8 × 8,5 × 49,5 7,25 × 2,59 × 15,09	23,8 × 8,5 × 49,5 7,25 × 2,59 × 15,09
Dimensiones de la unidad embalada para despacho, profundidad × frente × alto (pie/m)	40,5 × 7,8 × 9,0 12,34 × 2,38 × 2,74	44,5 × 8,5 × 10,5 13,56 × 2,59 × 3,20	49,5 × 8,5 × 10,5 15,09 × 2,59 × 3,20	49,5 × 8,5 × 10,5 15,09 × 2,59 × 3,20
Peso de la unidad embalada para despacho (lb/kg)	42.900 19.459	52.300 23.723	53.880 24.440	55.000 24.948
Dimensiones de la base, profundidad x alto (pie/m)	24,0 × 8,5 7,32 × 2,62			
Peso de la base (lb/kg)	29.000 13.154			
Temperatura de funcionamiento (*F/*C)	-40° a +140° -40° a +60°			
Dimensiones de la banda de carga, L × A (pulg/m)	390,0 × 42,0 9,91 × 1,07	406,0 × 50,0 10,3 × 1,27	466,0 × 50,0 11,84 × 1,27	466,0 × 50,0 11,84 × 1,27
Carga admisible de la banda, PIW (lb/kg)	10.000 4.536			
Sistema de frenado automático	Si			

Tabla N°08.- Especificaciones de una unidad Rotaflex

Fuente: Weatherford International.LA

2.3.2.2. Unidad Hidráulica de Superficie VSH2 (Weatherford)

La unidad VSH2 es una unidad de bombeo alternativo para el movimiento de varillas, el principio de funcionamiento se basa en presiones hidráulicas compensadas por la compresión y expansión de nitrógeno.

El nitrógeno que se encuentra dentro de un acumulador soporta 2/3 de la carga total del vástago pulido y es capaz de remplazar a los contrapesos de una unidad de bombeo convencional.

En la Figura N°32 se observa una fotografía de una unidad VSH2 instalada recientemente en el pozo Pichincha 12 del campo Libertador.



Figura N° 32.- Unidad de Bombeo VSH2 instalada en el pozo Pichincha 12 del Campo Libertador
Fuente: Weatherford International. LA.

Con el principio de la hidroneumática se pueden levantar cargas de hasta 40.000 libras en la barra pulida, con una carrera máxima de 120 pulgadas y con hasta ocho golpes por minuto.

Estas dos últimas variables pueden ser modificadas según la necesidad en solo minutos y con solo la manipulación de un operario.

2.3.2.2.1. Componentes de una Unidad VSH2

El VSH2 consta de las siguientes partes:

- **Acumulador (ACC)**

Es un cilindro con un pistón flotante en su interior en el cual actúan aceite hidráulico y nitrógeno (N₂). Genera el efecto de los contrapesos de los equipos individuales de bombeo, por lo que soporta hasta 2/3 de la carga total del vástago pulido.

- **Cilindro Actuador (CA)**

Es un cilindro con dos pistones solidarios a una barra pulida estos pistones generan tres cámaras en las cuales actúa aceite hidráulico.

- **Motor**

Éste puede ser eléctrico de 380 V, 50 y/o 70 HP. Las unidades pueden venir provistas con motores a combustión, diésel o gas.

- **Bombas Hidráulicas**

Son aquellas que vienen provistas con bombas de 130 cc, con simple bomba o con doble bomba de 75cc, esto es dependiendo de los requerimientos de producción.

- **Tanque de aceite hidráulico**

Posee una capacidad de 360 litros.

- **Carga de Nitrógeno N2**

Se necesitan cuatro botellas cargadas con nitrógeno.

- **Pedestal**

Es una torre de 7 metros de altura en donde se alojan los sensores de proximidad para el cambio de dirección de la carrera y el carro colgador que está unido en uno de sus extremos por la barra pulida del Cilindro Actuador y en su otro extremo por la carga del vástago pulido.

En el pedestal se acopla el Cilindro Actuador dando una altura total de 13 metros para las unidades 120. Este pedestal es roscado a la T de producción en la boca de pozo y mantiene su posición vertical por medio de la sujeción de cuatro vientos regulables.

En las Figuras N°33 y N°34 que se muestran a continuación se pueden observar todos los componentes de una unidad VSH2.

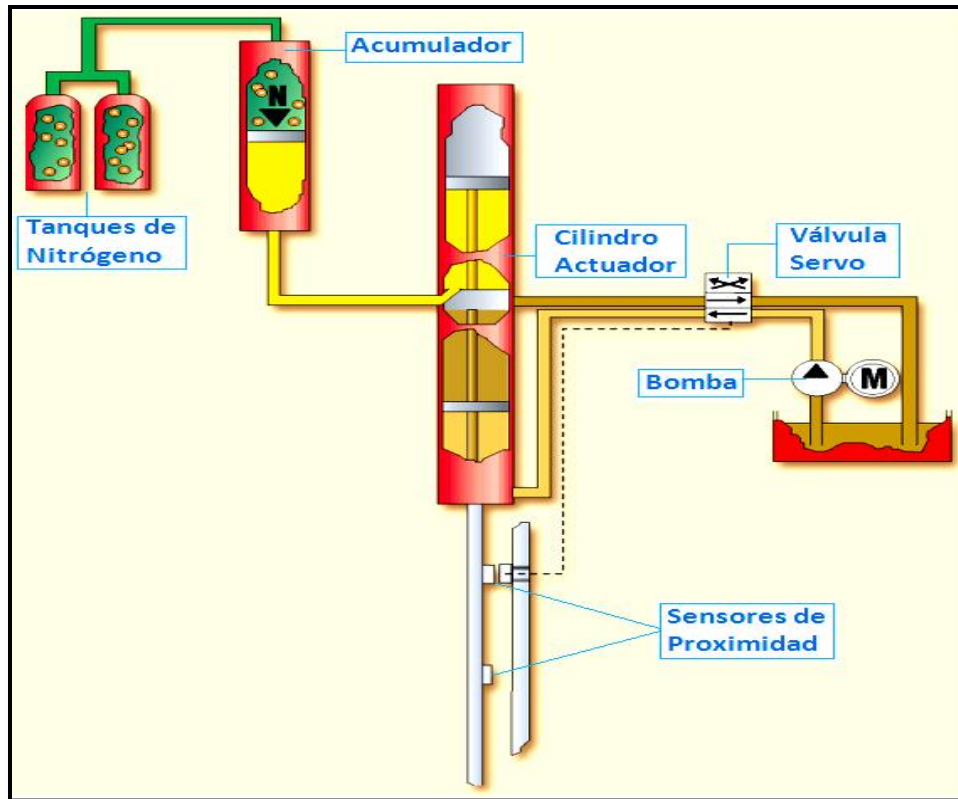


Figura N° 33.- Partes que conforman una Unidad VHS2
Fuente: Manual de Operaciones VSH2. Weatherford International. PDF.



Figura N° 34.- Cilindro Actuador y Cilindro Acumulador de una Unidad VHS2
Fuente: Manual de Operaciones VSH2. Weatherford International. PDF

2.3.2.2.2. Funcionamiento de una Unidad VSH2

1. Durante la carrera ascendente, el Nitrógeno de color verde mostrado en la Figura N°35 pasa de los tanques de reserva hacia la cámara superior del cilindro acumulador y empuja el pistón de éste hacia abajo.

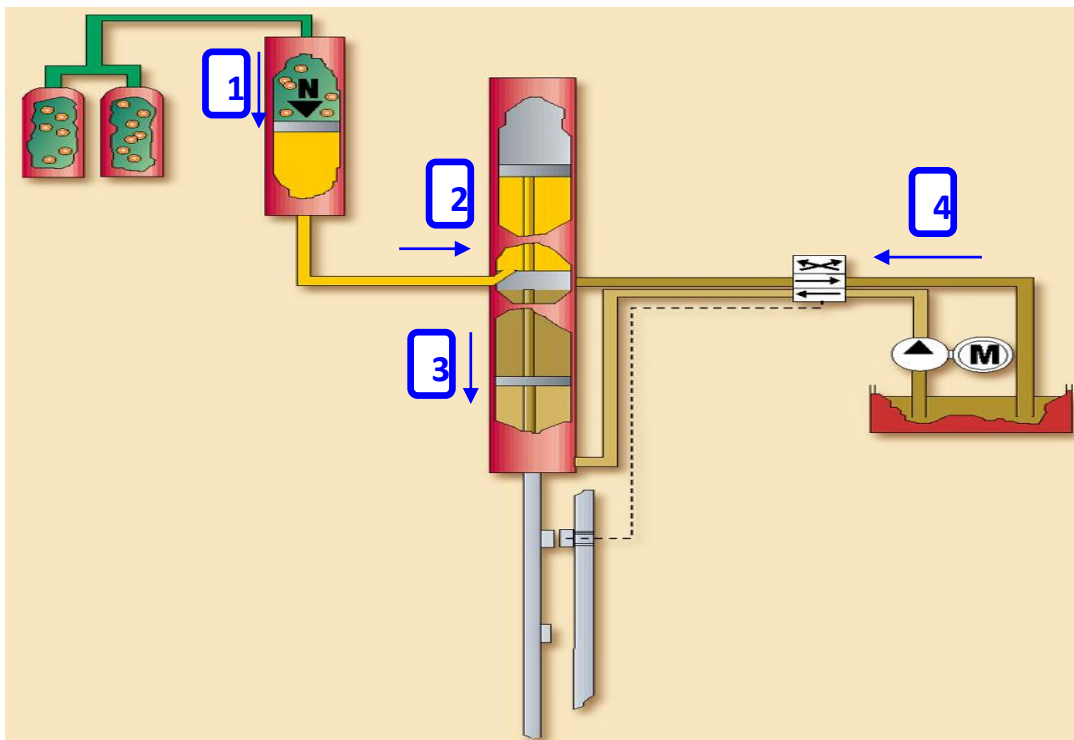


Figura N° 35.- Funcionamiento de una Unidad VHS2
Fuente: Manual de Operaciones VSH2. Weatherford International. PDF.

2. Luego el aceite hidráulico (amarillo) es desalojado y empieza a llenar la cámara superior del cilindro actuador produciendo el desplazamiento del vástago hacia arriba.
3. En ese mismo momento, la bomba complementa el movimiento ascendente inyectando aceite hidráulico en la cámara inferior del cilindro actuador.
4. Por otro lado la válvula servo, permite direccionar los flujos de aceite desde la bomba al cilindro actuador de manera de permitir el ascenso del vástago y con él también el movimiento ascendente de la sarta de varillas.

El sensor superior de proximidad le indica al equipo el fin de la carrera ascendente. (Ver Figura N°36).

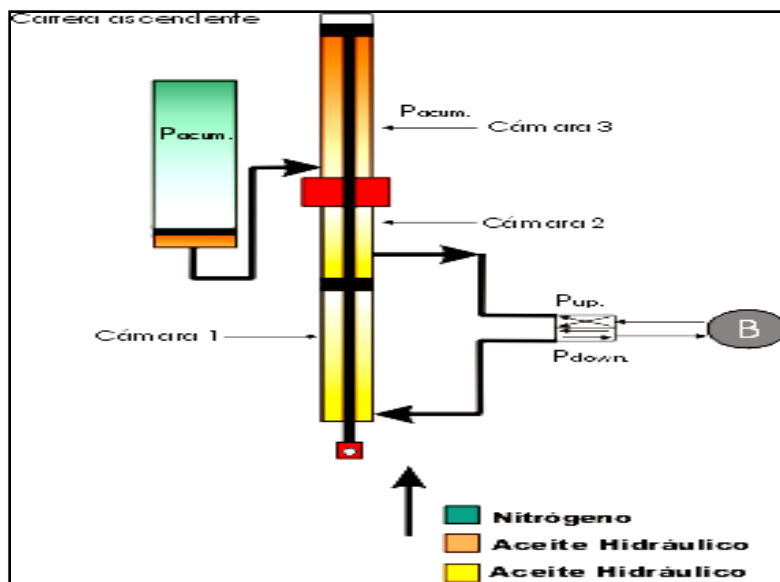


Figura N° 36.- Carrera Ascendente del Bombeo de VSH2

Fuente: Alberto Marcelo Modón, José Pich. Weatherford ALS. Oswaldo Tricoli Repsol YPF. PDF

Durante la carrera descendente ocurre el proceso inverso, donde en éste caso el Nitrógeno se comprime hasta que el sensor inferior indica el final de la carrera descendente. Y luego se repite el ciclo. (Ver Figura N°37).

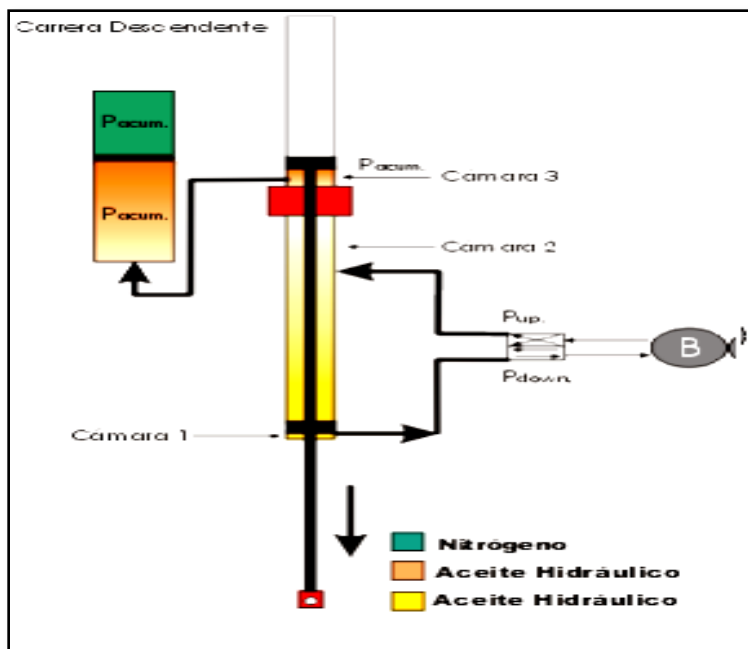


Figura N° 37.- Carrera Descendente del Bombeo de VSH2

Fuente: Alberto Marcelo Modón, José Pich. Weatherford ALS. Oswaldo Tricoli Repsol YPF. PDF

Las velocidades de ascenso y descenso pueden ser cambiadas por medio del cambio de caudal que envía la bomba girando los controles ubicados en el tablero de comandos.

2.3.2.2.3. Características Importantes de una Unidad VSH2

- “Es una unidad ligera, compacta fácil para transporte y reinstalación.
- Ésta unidad es muy utilizada para pruebas de producción.
- Tiene mínimos costos de transporte y posee mínimos requerimientos preparación
- Posee versatilidad para acomodarse a una amplia variedad de pozos, además de su alta flexibilidad operativa que es dirigida por un control de variador.
- Ocupa poco espacio para lugares de difícil acceso y puede ser utilizada con motores eléctricos o de gas y es considerada ideal como alquiler de unidad temporal por su fácil movilización.
- Tiene la posibilidad de manejar de crudos muy pesados en relación con la posibilidad de ajuste de velocidades.
- Su elevada flexibilidad y facilidad de montaje le permite una aplicación muy efectiva para ensayo de pozos.”¹⁸

2.4. HERRAMIENTAS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL BOMBEO MECÁNICO

A continuación en el Gráfico N°03 se resume un cuadro con las herramientas utilizadas para la optimización de la producción en pozos con bombeo mecánico.

¹⁸ Weatherford International.LA. Manual de Operaciones del Equipo VSH2. PDF

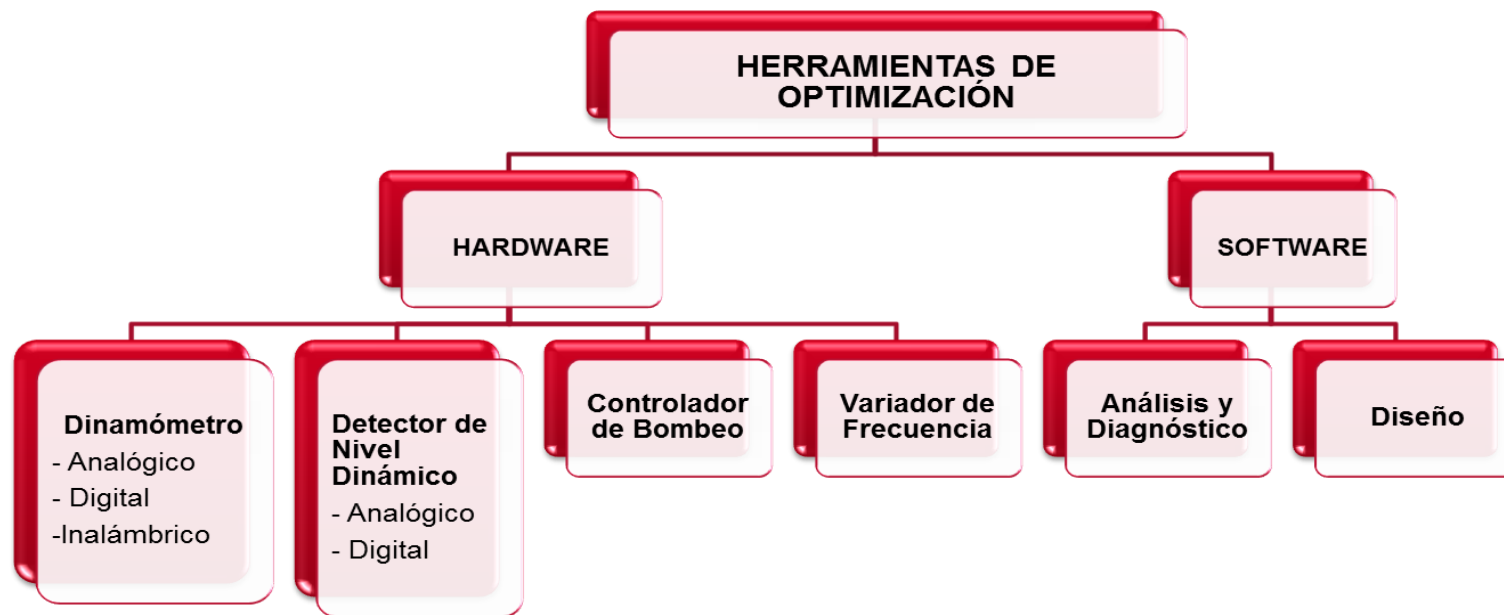


Gráfico N° 03.- Resumen de Herramientas utilizadas para la optimización de Bombeo Mecánico

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/19698322/Bombeo-Mecanico>

Realizado por: Melina Estrada B.

2.4.1. Dinamómetro Electrónico

“Es un desarrollo de modelo matemático que representa la instalación de las varillas de bombeo.

Registrando la magnitud de las cargas sobre el vástago y midiendo en la superficie los desplazamientos del mismo, el programa calcula valores de carga y desplazamientos en distintos puntos a lo largo de la sarta de varillas y en la bomba, dibujando diagramas de carga-desplazamiento en la superficie.

La función del modelo matemático es la de codificar los registros en la superficie de tal manera que se pueda hacer una interpretación de la información recibida y deducir las características de la operación en el subsuelo. De esta interpretación surgen entonces representaciones gráficas de los esfuerzos y desplazamientos producidos en el pistón de la bomba, constituyendo los Dinamómetros de Fondo.”¹⁹
(Ver figuras N°38 y N°39).

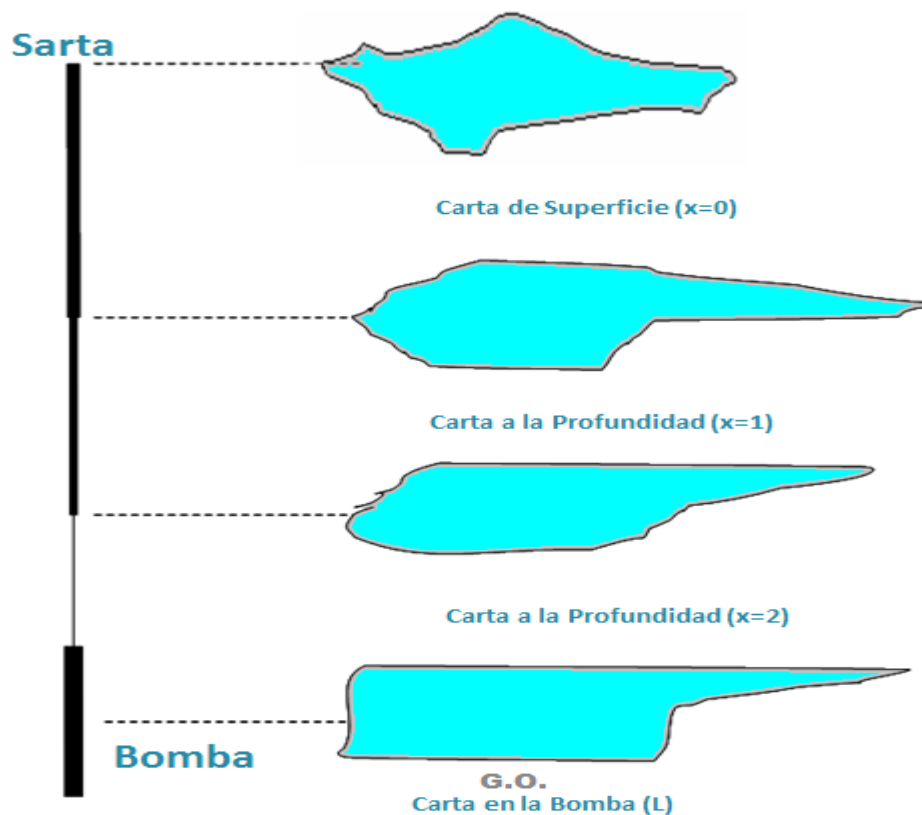


Figura N° 38.- Cartas Dinamométricas de Fondo a partir de la Carta en superficie
Fuente: Manual de Interpretación de Cartas Dinamométricas Weatherford. LA. – Artificial Lift System

¹⁹ Manual de Interpretación de Cartas Dinamométricas.

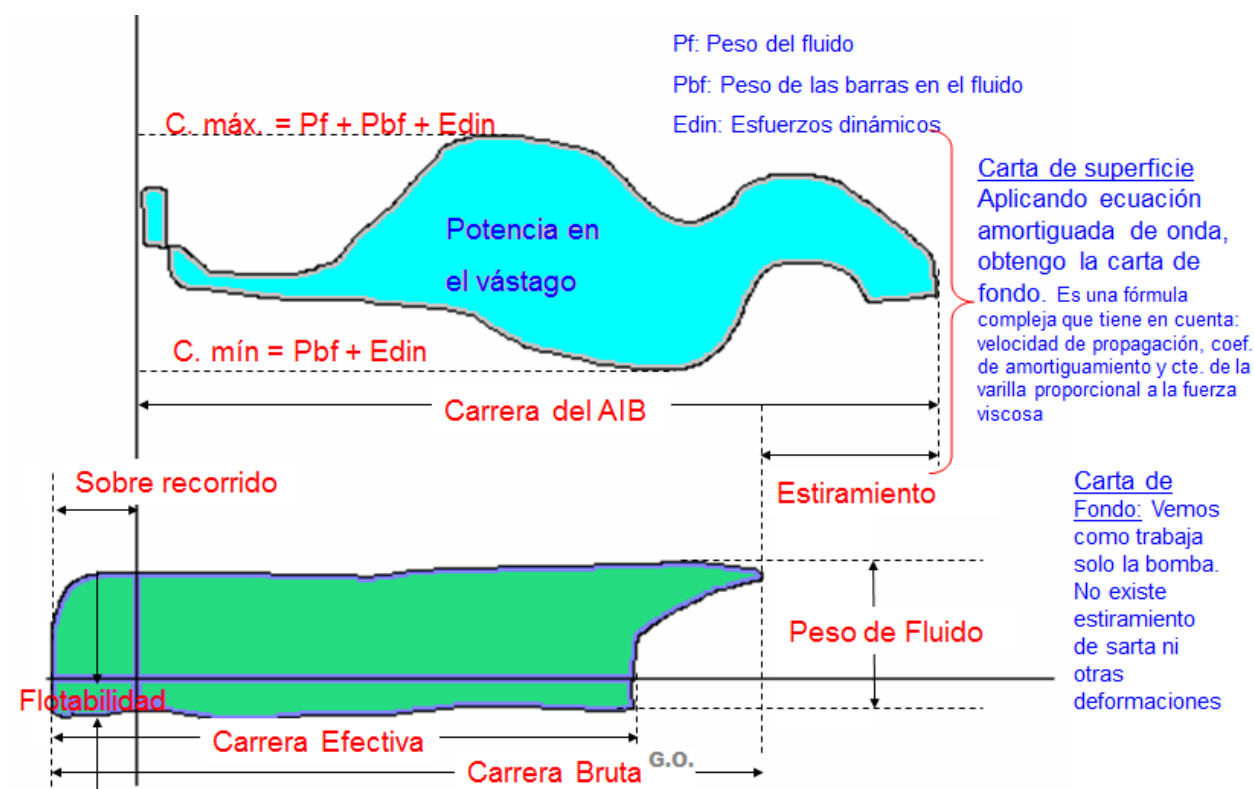


Figura N° 39.- Interpretación de Cartas Dinamométricas

Fuente: Manual de Interpretación de Cartas Dinamométricas Weatherford. LA. – Artificial Lift System

2.4.2. Ecómetro

“Se trata de un detector acústico de nivel. El objeto es determinar donde se encuentra el nivel de fluido, aprovechando la diferencia de densidad entre el gas y el líquido que contenga el pozo.

El método consiste en producir una onda acústica en el espacio anular del pozo producida por la detonación de una carga explosiva en la superficie y registrar las reflexiones acústicas en una carta.

Las ondas acústicas se reflejan en toda obstrucción o variación de la sección en el espacio anular (cupla de la columna de tubing, ancla, nivel de fluido), además tiene velocidad de propagación constante. Al encontrar una discontinuidad se produce un Eco.

Obtenida la señal de regreso en superficie, marcará en el gráfico una deformación menor en cada cupla del tubing y una deformación mayor que indicará el cambio de medio por el que se transmite o sea el nivel del fluido.”²⁰ (Ver Figura N°40).

²⁰ Manual de interpretación de Cartas Dinamométricas.



Figura N° 40.- Fotografía de un Echometer para la interpretación de Cartas Dinamométricas
Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System

Esta onda puede ser captada por un micrófono. Midiendo el tiempo transcurrido entre la escucha de la onda y su eco se puede determinar la distancia.

2.4.2.1. Técnica de Ecometría

“Para su aplicación a la medición de nivel

- Se realiza un disparo de Aire comprimido (CO₂) en el espacio anular. (Se genera la onda de sonido).
- Se capta con un micrófono en un punto fijo el sonido correspondiente, al disparo y a todos los ecos que se produzcan.
- Se registra la señal captada por el micrófono.
- A partir del registro se determina el nivel.”²¹

En la Figura N°41 se muestra de una manera ilustrada la técnica para la toma de niveles:

²¹ *Manual de interpretación de Cartas Dinamométricas.*

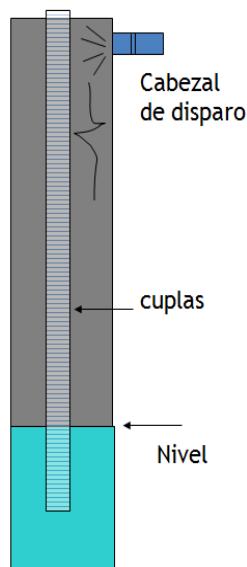


Figura N° 41.- Ilustración de la Técnica de Toma de Niveles

Fuente: Manual de Interpretación de Cartas Dinamométricas Weatherford. LA. – Artificial Lift System

2.4.3. Análisis Nodal en pozos de Bombeo Mecánico

Una de las herramientas de análisis utilizadas para optimizar la producción en pozos de Bombeo Mecánico está el Análisis Nodal, en donde un pozo petrolero es perforado y completado con la finalidad de mover el petróleo que se encuentra en el fondo hacia la superficie; pero durante este proceso se producen pérdidas de presión en el sistema que hacen de una u otra forma que la producción se vea afectada por dichas pérdidas, por lo que es necesario evaluar cómo y dónde se producen estos cambios para así poder llegar a optimizar las energías necesarias que requiere un pozo para elevar el fluido hacia la superficie.

Las pérdidas que se producen durante el movimiento del fluido en superficie se dividen en los llamados NODOS, y de esta manera separar por tramos y poder diferenciar una a una las pérdidas, para poder aplicar diferentes métodos, tal es el caso de LOWIS (Life of Well Information Software) aplicado para pozos con bombeo mecánico que nos ayuden a disminuir las pérdidas mediante un seguimiento en tiempo real y con posibilidades de mejorar la producción. (Ver Figura N°42).

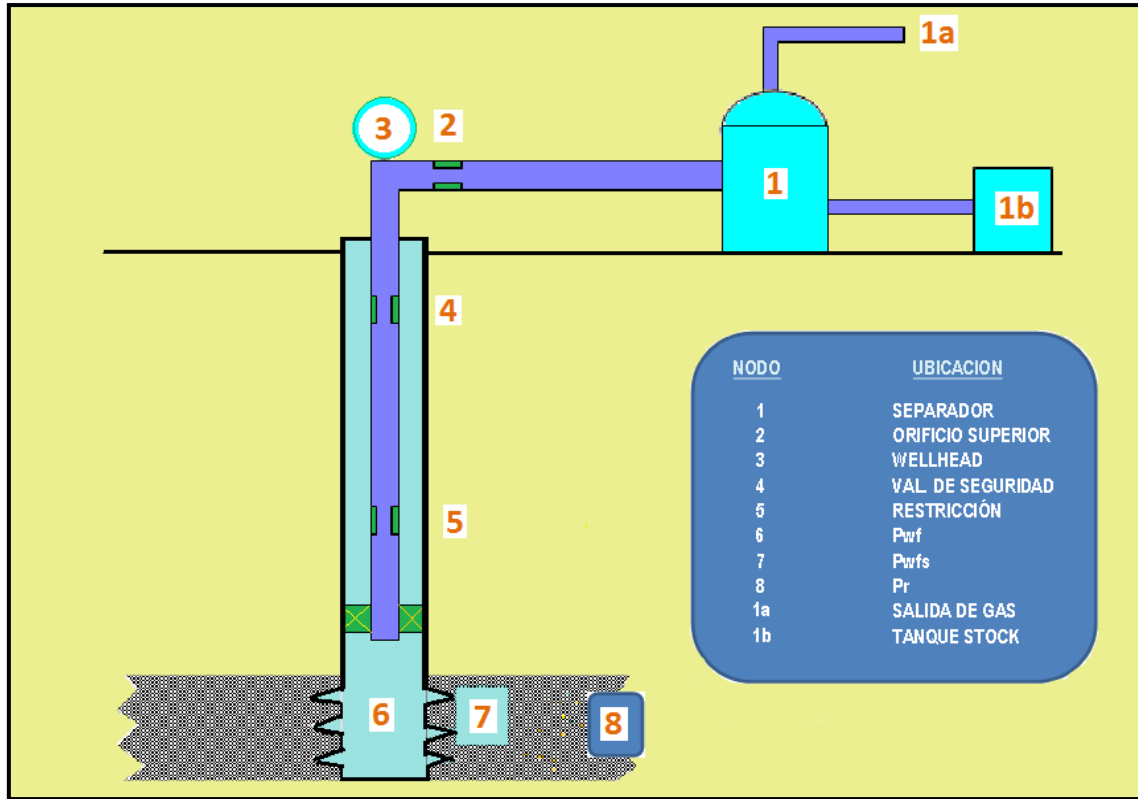


Figura N° 42.- Tramos de pérdidas de producción (NODOS) en los pozos
Fuente: *Production Optimization Using Nodal Analysis*, D. Beggs
Realizado por: Melina Estrada B.

“El análisis nodal es una herramienta que nos permite evaluar y simular un sin número de parámetros, de nuestro interés podemos señalar los siguientes:

- Determinar el daño
- Obtener pronósticos de producción
- Determinar caídas de presión
- Evaluar producción simulando diferentes cambios en el sistema
- Determinar diámetro óptimo en tuberías de producción.”²²

“La caída de presión en el sistema total en cualquier momento será la presión inicial menos la presión final, $\overline{P}_R - \Delta p$ (upstream componentes)=P nodo.

Esta caída de presión es la suma de las caídas de presiones que ocurren en todos los componentes del sistema. Por lo tanto, la caída de presión a través de cualquier componente variará el caudal producido, por lo que el dicho caudal será controlado por los componentes seleccionados en el sistema.”²³

²² *Production Optimization Using Nodal Analysis*, D. Beggs

La caída de presión en un nodo particular depende no solo del caudal que atraviesa, sino del promedio de presión existente en el nodo, ya que el flujo es compresible.

La cantidad de petróleo y gas que fluye dentro del pozo desde el reservorio depende la caída de presión en el sistema de conducción y la caída de presión en este sistema dependerá de la cantidad de fluido que pase a través de ella. De esto tenemos que de cada sistema debe ser analizado como unidad.

La producción en un pozo generalmente puede estar restringida por el desempeño de un solo componente del sistema por ello, aislando éste componente se pudiera realizar grandes cambios económicos.

Debido a casos anteriores se ha logrado determinar que las restricciones se han dado debido a los diámetros reducidos de los tubings de producción a las líneas de producción. Otro de los errores cometidos durante la etapa de completación es la instalación de tubings de diámetros muy grandes donde se espera producir altos caudales. Sin embargo esto produce no sólo una alta sobredimensión en los costos de materiales, sino conlleva a una disminución en la producción del pozo. Lo que sucede en pozos con alta relación gas-líquido, ya que al tener mayores diámetros de tubings por la reducción de la velocidad del fluido, provoca cargas de líquido en la cañería de producción y causa muchas veces el ahogo del pozo, haciendo que sea necesario instalar algún sistema de levantamiento artificial o componentes de gas en superficie.

El método denominado Análisis Nodal es utilizado para determinar la ubicación de zonas con excesiva resistencia al paso del fluido o caídas de presión en cualquier parte del sistema, para así de esta manera determinar fácilmente el efecto de los cambios de cualquier nodo sobre el rendimiento total del pozo. (Ver Figura N°43).

²³ *Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs*

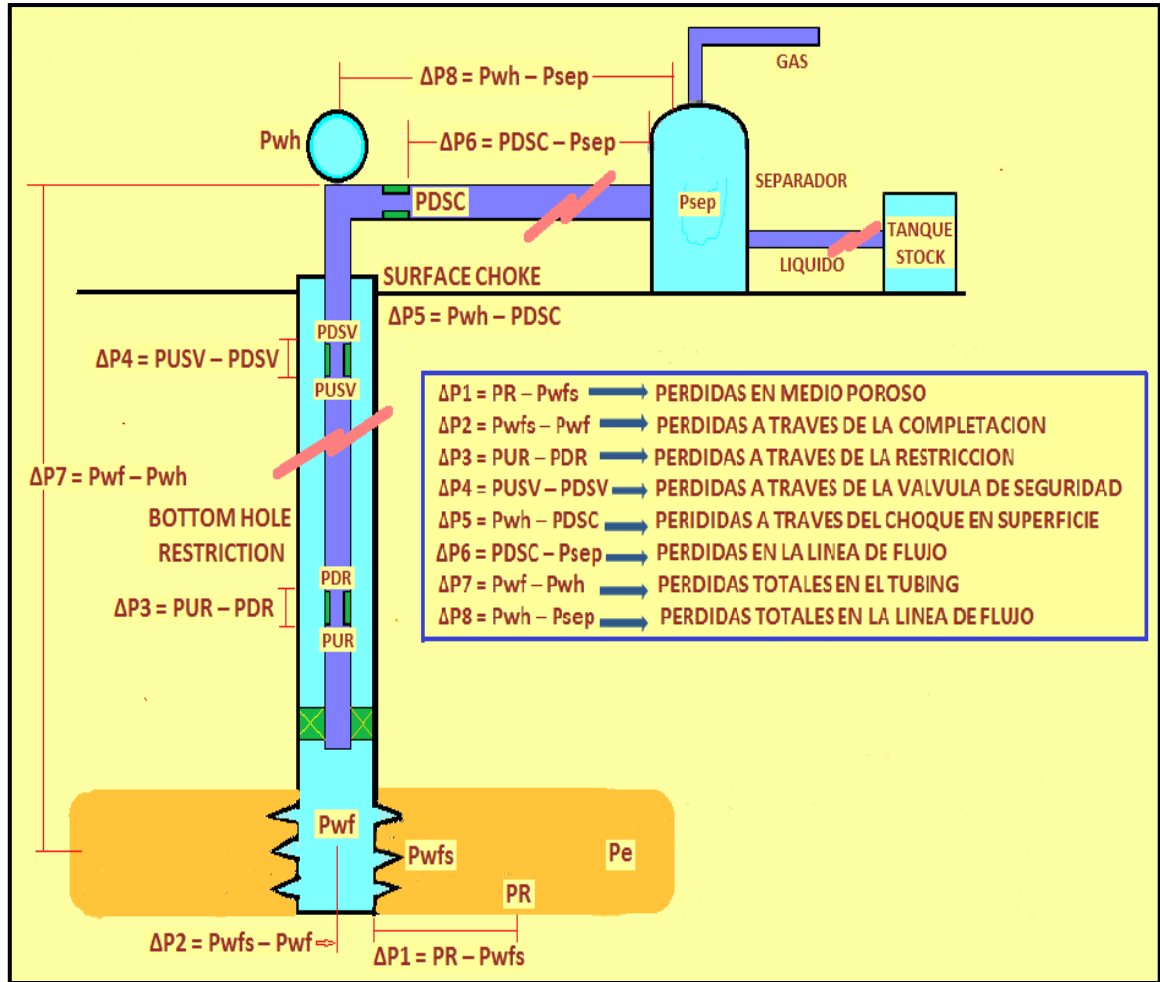


Figura N° 43.- Pérdidas de Presión en los Nodos
Fuente: *Production Optimization Using Nodal Analysis*, D. Beggs
Realizado por: Melina Estrada B.

De donde:

P_R = Presión de reservorio

P_{wfs} = Presión de la cara del pozo

P_{wf} = Presión de fondo fluente

P_{UR} = Presión de entrada de restricción

P_{DR} = Presión de descarga de restricción

P_{USV} = Presión a la entrada de la válvula de seguridad

PDSV= Presión de descarga de la válvula de seguridad

Todos los componentes aguas arriba del nodo (Upstream) comprende la sección de entrada (Inflow section), mientras que la sección de salida (outflow section) consiste en todos los componentes que se encuentran aguas abajo del nodo (Downstream). Una relación entre el caudal y la caída de presión debe estar disponible para cada componente del sistema.

“El flujo a través del sistema puede ser determinado una vez que los siguientes requerimientos son satisfechos:

3. El flujo a la entrada del nodo es igual al flujo a la salida del mismo.
4. Una sola presión existe en el nodo.

En un momento particular de la vida del pozo, hay siempre dos presiones que permanecen fijas y no son función del caudal. Una de esas presiones es la presión promedio del reservorio \overline{P}_R , y la otra es la presión de salida del sistema. La presión de salida es generalmente la presión del separador P_{sep} , pero si la presión del pozo es controlada con un orificio en la superficie, la presión fija a la salida del sistema será P_{wh} . Una vez que el nodo es seleccionado, la presión en el nodo es calculada en ambas direcciones, comenzando desde las fijas.

Entrada al Nodo (Inflow)

$$\overline{P}_R - \Delta p \text{ (Upstream Componentes)} = P \text{ nodo}$$

Salida del Nodo (Outflow)

$$P_{sep} + \Delta p \text{ (Downstream Componentes)} = P \text{ nodo}$$

La caída de presión Δp , en cualquier componente varía con el caudal, q . Por lo tanto, un gráfico de la presión en el nodo versus el caudal producirá dos curvas, las cuales se interceptaran satisfaciendo las condiciones 1 y 2 antes mencionadas.²⁴

El efecto del cambio en cualquier componente puede ser analizado recalculando la presión en el nodo versus el caudal, usando las nuevas características del componente que fue cambiado.

Si el cambio fue realizado en un componente aguas arriba (upstream), la curva de salida (outflow) no sufrirá cambios. Por lo tanto, si cualquier curva es cambiada, la intersección también lo hará y existirá entonces una nueva capacidad de flujo y presión en el nodo. (Ver Figura N°44).

²⁴ *Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs*

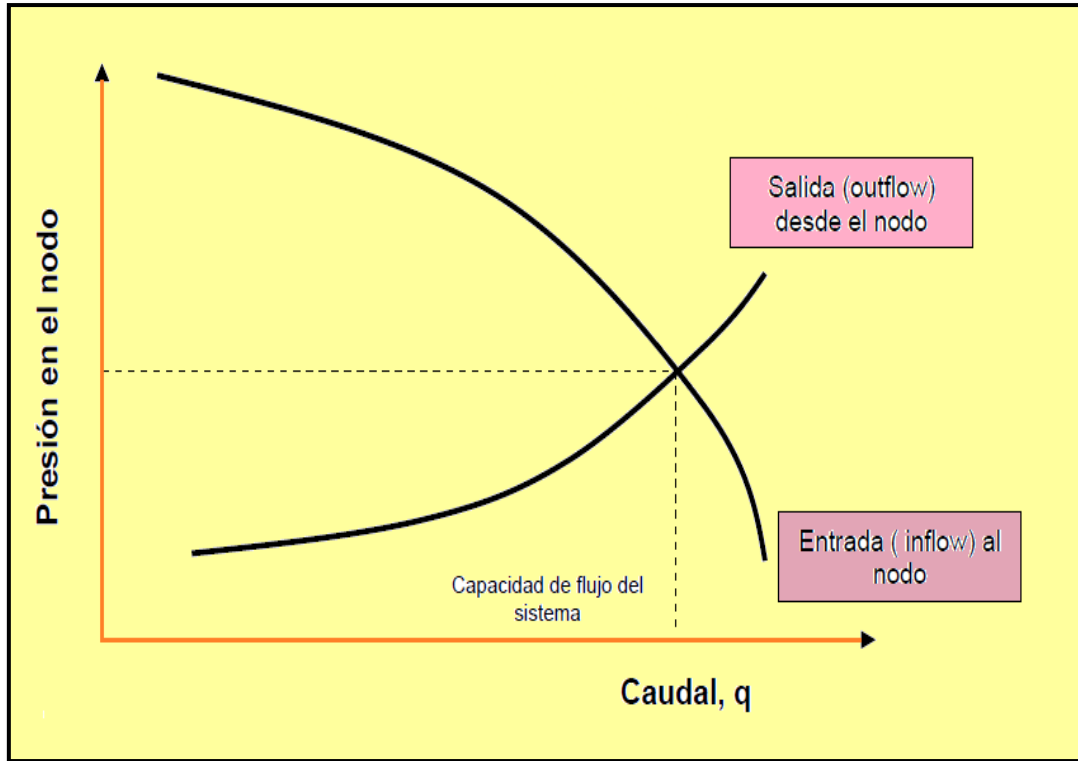


Figura N° 44.- Presión con respecto al caudal para determinar la caída de presión en cualquier componente.

*Fuente: Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs
Realizado por: Melina Estrada B.*

Las curvas también se pueden desplazar si cambian cualquiera de las condiciones del separador o instalaciones receptoras en la superficie.

El procedimiento puede ser ilustrado considerando un sistema simple de producción, y eligiendo la presión de la boca del pozo como nodo. (Ver Figura N°45).

Entrada al Nodo (inflow)

$$\overline{P}_R - \Delta P_{\text{tubing}} = P_{wh}$$

Salida del Nodo (outflow)

$$P_{sep} + \Delta p_{\text{flowline}} = P_{wh}$$

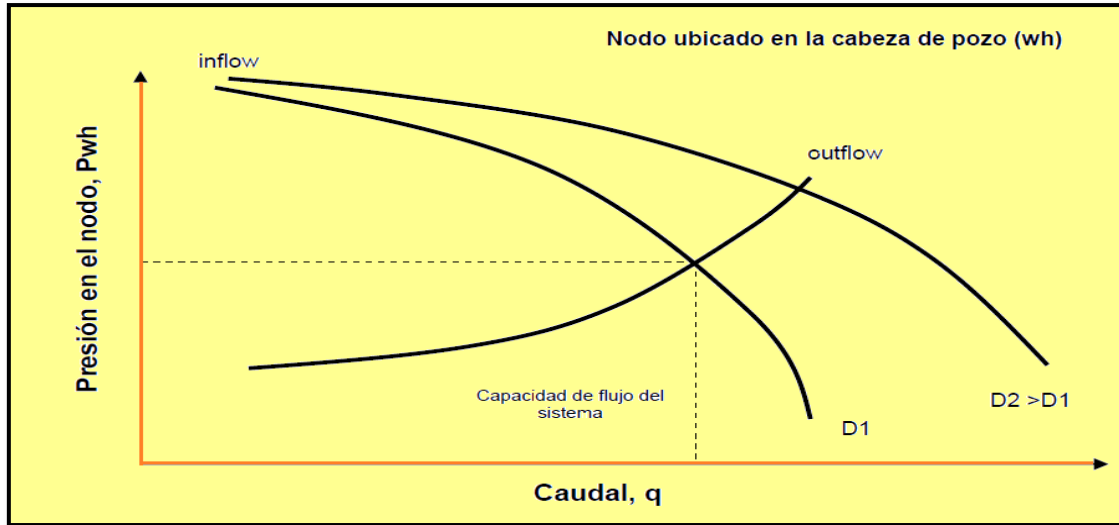


Figura N° 45.- Efecto sobre la capacidad de flujo debido al cambio del diámetro de tubings.

Fuente: Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs

Realizado por: Melina Estrada B.

El efecto del cambio del diámetro de tubing por uno de mayor diámetro, siempre y cuando no sea muy grande, provoca un aumento de caudal y un consecuentemente aumento en la presión de boca de pozo.

“El análisis usado más frecuente es el de seleccionar el Nodo entre el reservorio y el sistema de conducción.

Seleccionando el Nodo en este punto divide al pozo en dos componentes, el reservorio y el sistema de conducción. (Ver Figura N°46).

Las expresiones para la entrada (inflow) y la salida (outflow) serán las siguientes:

Entrada al Nodo (inflow)

$$\overline{P}_R - \Delta P_{re} = P_{wf}$$

Salida del Nodo (outflow)

$$P_{sep} - \Delta P_{flowline} + \Delta P_{tubing} = P_{wf}^{*25}$$

²⁵ *Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs*

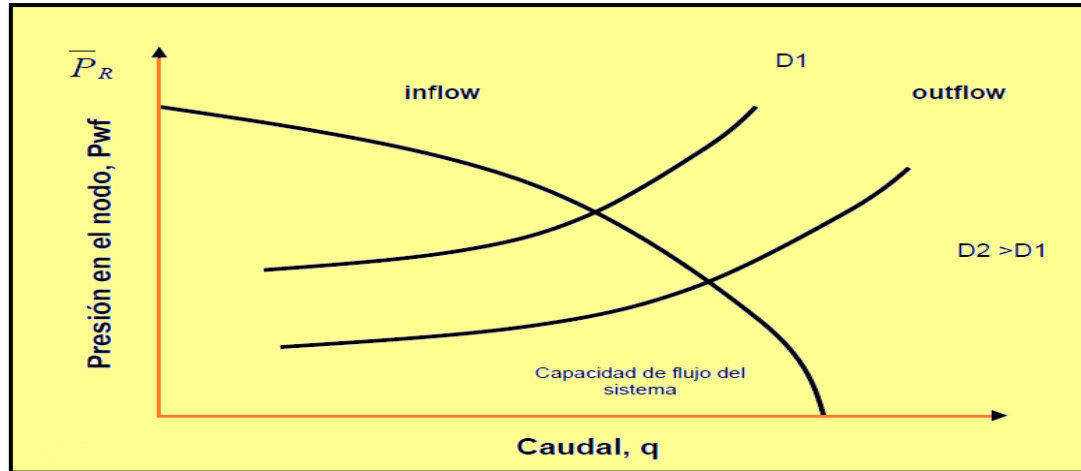


Figura N° 46.- Efecto del cambio en los diámetros de tubing sobre la capacidad de flujo del sistema.

Fuente: Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs

Realizado por: Melina Estrada B.

“Un sistema de producción puede ser optimizado seleccionando una combinación de componentes característicos que permitan lograr la máxima producción al menor costo posible. Aunque la caída de presión global del sistema $\overline{P_R}$ - Psep, podría ser fijada en un momento particular, la capacidad de producción del sistema dependerá de donde ocurra la caída de presión.

Si es mucha la presión que cae en un componente o módulo, habrá una suficiente presión remanente para un desempeño eficiente de los otros módulos.”²⁶ (Ver Figura N°47).

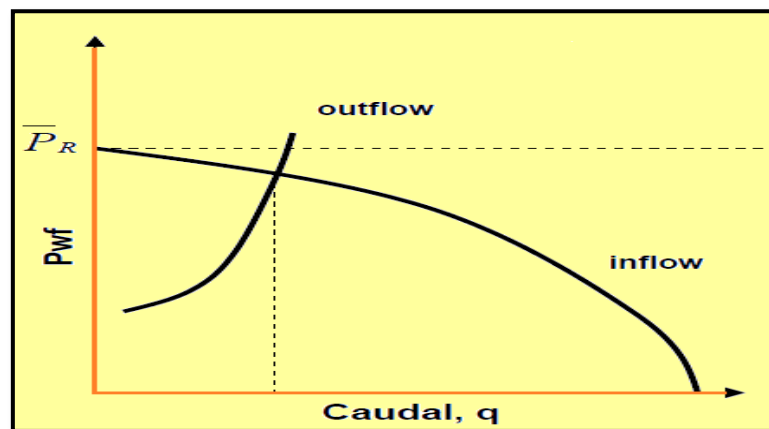


Figura N° 47.- Diámetro reducido de tubing restringe la capacidad de flujo del pozo.

Fuente: Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs

Realizado por: Melina Estrada B.

²⁶ *Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs*

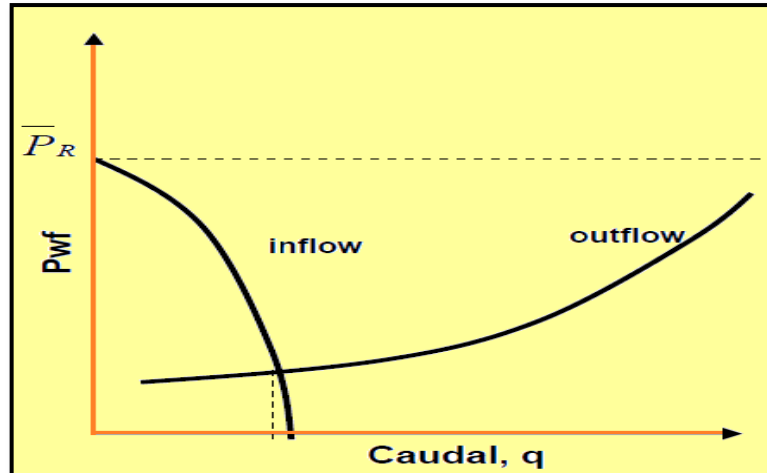


Figura N° 48.- Desarrollo del pozo se controlado por el desempeño de entrada (Inflow).

Fuente: Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs

Realizado por: Melina Estrada B.

En éste caso una gran caída de presión podría estar cayendo en el daño de formación o en el entorno de un eficiente punzado. (Ver Figura N°48).

2.4.3.1. Curvas IPR

Bajo la suposición que el flujo de un líquido en el pozo es directamente proporcional a la caída de presión en el fondo resultaron las denominadas curvas de IPR (Inflow Performance Relationship). La constante de proporcionalidad con la que se mide la productividad de un pozo se llama índice de productividad (IP) y la ecuación se define por:

$$IP = \frac{Q_o}{P_{ws} - P_{wf}}$$

En donde:

Q_o = Caudal de Petróleo (BPD)

P_{ws} = Presión Promedio en el Reservorio o Presión de Fondo Estática del Pozo (Psi)

P_{wf} = Presión de Fondo Fluyente en el Pozo (Psi)

“**W. E. Gilbert (1954)** realizó diversas observaciones en campos productores de hidrocarburos y se dio cuenta que esto sólo se cumplía cuando la P_{wf} se encontraba por encima del punto de burbuja o presión de saturación, mientras que para la mayoría de los pozos, los cuales su P_{wf} estaba por debajo del punto de burbuja, la IPR graficada formaba una curva debido a que la fase gaseosa presente en el aceite tenía un efecto en la producción.

Este investigador encontró que el índice de productividad variaba con respecto al tiempo. Esto se debe a que la presión en el yacimiento disminuye conforme a la explotación del mismo, lo cual se traduce en un incremento en la saturación de gas y en un incremento en la resistencia a fluir del aceite. Para una caída constante de presión, el IP (Índice de Productividad) también dependerá del mecanismo de empuje del yacimiento.”²⁷

Cuando la producción está por encima del punto de burbuja, el IP (Índice de Productividad) permanecerá constante en yacimientos con empuje asociado a un acuífero activo. Ya que las permeabilidades relativas de aceite y de agua no se verán afectadas por el gas liberado en el yacimiento. (Ver Figura N°49).

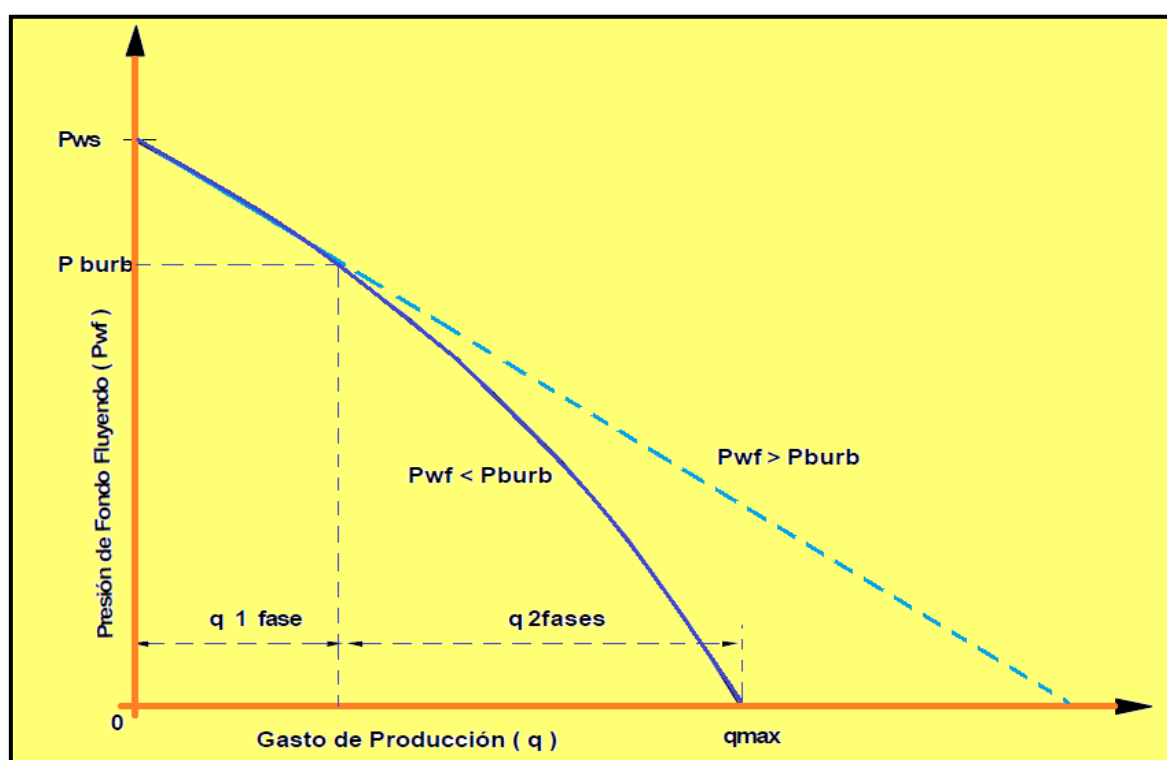


Figura N° 49.- Representación Esquemática de las Curvas de Comportamiento de Presión – Producción.

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.pdf

Realizado por: Melina Estrada B.

“Con la necesidad de contar con correlaciones útiles para construir curvas de IPR de producción. **M. V. Vogel (1968)** desarrolló un estudio sobre IPR para yacimientos con empuje por gas en solución derivando ecuaciones que describían los perfiles de presión y saturación de gas desde el agujero del

²⁷ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.pdf

pozo hasta las fronteras del yacimiento. Con estas ecuaciones considero variaciones en las caídas de presión y en las propiedades roca – fluido, hasta obtener una relación adimensional para el índice de productividad.²⁸

La correlación de Vogel para obtener una curva IPR adimensional es la siguiente:

$$\frac{Q_o}{q_{o \max}} = 1 + 0.2 \frac{P_{wf}}{P_{ws}} + 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_{ws}} \right)^2$$

Donde:

Q_o = Caudal de petróleo correspondiente a la P_{wf}

$Q_o \text{ máx}$ = Caudal máximo de producción cuando la P_{wf} es igual a cero

P_{wf} = presión de fondo estática

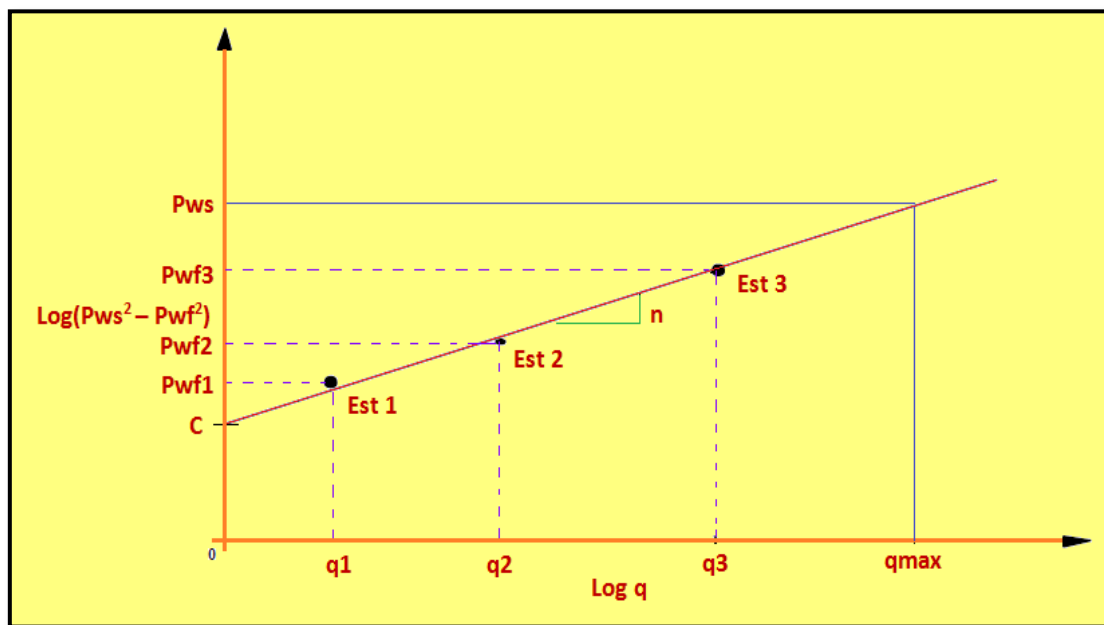


Figura N° 50.- Esquema del Comportamiento Presión – Producción de acuerdo a correlación de Fetkovich

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.pdf

Realizado por: Melina Estrada B.

“M.J. Fetkovich (1973) demostró que los pozos de aceite y los pozos de gas que producen por debajo de la presión de saturación o punto de burbuja, se comportaban de manera similar en términos del índice de productividad, por lo que desarrolló la siguiente correlación:

$$Q_o = C (P_{ws} - P_{wf})^n$$

²⁸ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.pdf

Donde:

Q_o = gasto de aceite correspondiente a la P_{wf}

$Q_o \text{ Max}$ = gasto máximo de producción cuando la P_{wf} es igual a cero

P_{wf} = Presión de Fondo estática

C = coeficiente de la curva

n = exponente (Un valor entre 0.5 y 1.0)

Para aplicar el método de Fetkovitch, es necesario determinar los valores de C y de n . Estos coeficientes se obtienen a través de una prueba de presión – producción de un pozo, donde se miden los gastos aportados por tres diferentes diámetros de estrangulador con sus correspondientes presiones de fondo fluyentes, así como la presión de fondo estática con el pozo cerrado. En escala log – log se grafican los valores de presión contra gasto, obteniendo una línea recta.”²⁹ (Ver Figura N°50).

El valor de C es la ordenada al origen y el valor de n es la pendiente de dicha recta. El potencial del pozo o gasto máximo teórico se obtiene intersectando el valor de la P_{ws} con la recta obtenida, para encontrar su correspondiente valor de gasto.

2.4.4. Análisis Workbench en pozos con Bombeo Mecánico

Además del análisis nodal para pozos con bombeo mecánico se encuentra al Análisis de Banco de Trabajo o también llamado análisis Workbench realizado por el software de optimización de la producción LOWIS para sistemas con Bombeo Mecánico, que está compuesto por un grupo de parámetros que son analizados para ser agrupados y dando como resultado un conjunto de herramientas basados en la interpretación de Cartas Dinamométricas que nos permiten diagnosticar problemas en pozos de Bombeo Mecánico presentados en tiempo real, evitando así pérdidas de producción.

Para calcular Cartas Dinamométricas de fondo existen algunos métodos, uno de ellos y más conocido ha sido el método de Gibbs; sin embargo, con el pasar del tiempo se ha considerado un nuevo método denominado método de Everitt Jennings o de diferencias finitas.

²⁹ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.pdf

2.4.4.1. Método de Everitt Jennings para el cálculo de Cartas Dinamométricas

“El método más preciso para controlar el bombeo mecánico se basa en el llenado calculado a partir de la tarjeta de fondo de pozo.

Los datos de fondo de pozo se pueden medir directamente por un fondo del pozo banco o puede calcularse resolviendo la unidimensional amortiguada ecuación de onda. Desde hace años no se introducen innovaciones importantes en la aplicación de la solución de la ecuación de onda, dejando el Gibbs método como el método más utilizado predominantemente en la industria.

Sin embargo, en los últimos dos años, Weatherford ha implementado el Método Everitt-Jennings para resolver la ecuación de onda.

La ecuación de onda es el siguiente:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x,t) = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x,t) - c \frac{\partial u}{\partial t}(x,t)$$

Las pérdidas de energía irreversibles que se producen a lo largo de la sarta de varillas debido a la elasticidad, en forma de ondas de tensión viajan debajo de la sarta de varillas a la velocidad del sonido.

La unidimensional de modelos amortiguados de ecuaciones agitó la propagación de las ondas de tensión en una barra delgada ideal.

El método de Everitt – Jennings modificado utiliza diferencias finitas para resolver la ecuación de onda en M escalones hacia la varilla. Éste método también incluye una interacción en el factor de amortiguación.

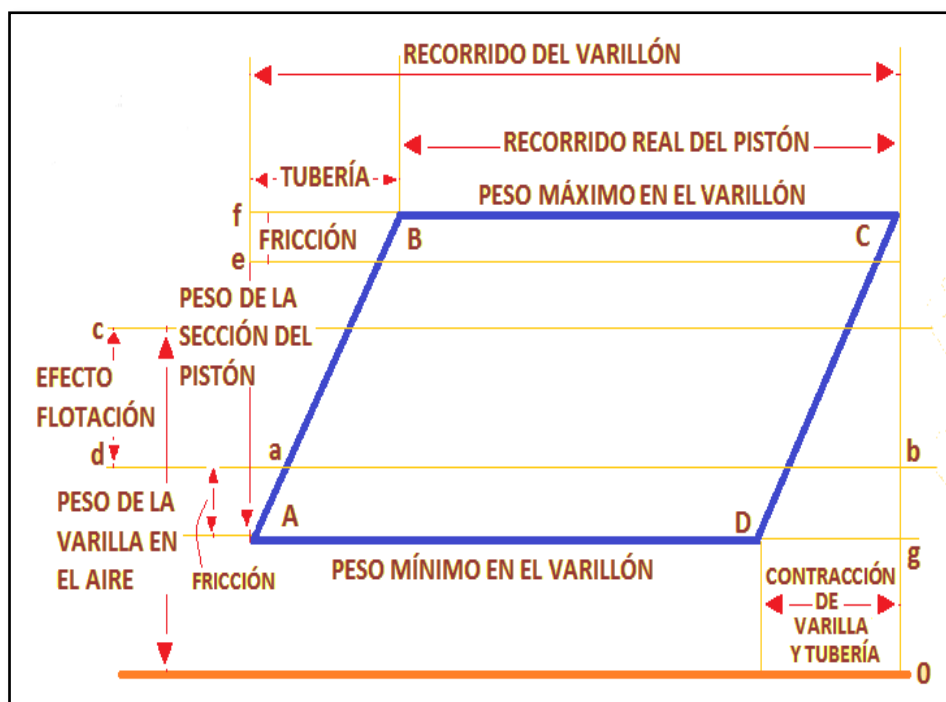
El uso de diferencias finitas para resolver la ecuación de onda implica dividir las varillas en un número finito de nodos.

El número de nodos puede ser elegido por el usuario. Esto garantiza que la posición, la carga y el estrés pueden ser calculados en cada nivel por la puesta a punto.

El Método de Everitt Jennings calcula el número mínimo de nodos necesarios para que el cálculo sea estable asegurando que sea lo más correcto posible cada vez.

2.5. INTERPRETACIÓN DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS

La Dinamografía teórica representa el funcionamiento perfecto de una bomba de profundidad; con un pozo, trabajando con un número de golpes pequeños, para sean despreciables las fuerzas de inercia, con un rendimiento volumétrico de fondo de 100% y sin fricción apreciable en la bomba. En la Figura N°51 se observa los parámetros para leer una carta Dinográfica.



Fuente: Mediateca. Rimed.Cu
Realizado por: Melina Estrada B.

³⁰ 6th Annual Sucker Rod Pumping - Workshop - Wyndham Hotel, Dallas, Texas - September 14 – 17, 2010-Modified Everitt-Jennings (MEJ) - Method and the Gibbs Method: Downhole Card Comparison

La línea “BC” representa el peso máximo en el varillón durante el recorrido ascendente. Éste sobrepasa al peso de las varillas en el líquido más el peso del líquido sobre el pistón, con la cantidad “ef” correspondiente a la fricción en el recorrido ascendente.

El peso del varillón en el recorrido ascendente que empieza en “A” crece progresivamente hasta “B” debido a que antes que el pistón se ponga en movimiento, las varillas y la tubería de extracción se estiran bajo la influencia del peso del líquido. La longitud “fB” representa este estiramiento incluyendo la influencia de la fricción. “Aa” y “ef”. El pistón empieza el movimiento en “B”.³¹ La Dinamografía teórica de una carta dinagráfica ideal se representa en la Figura N°52.

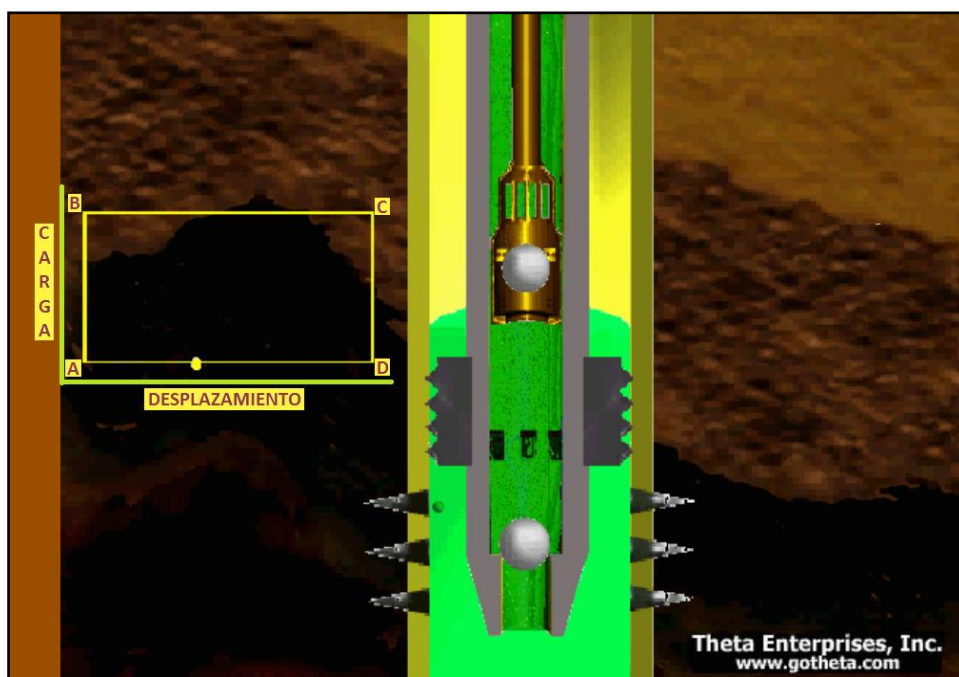


Figura N° 52.- Funcionamiento de la Bomba de subsuelo y Carta Dinagráfica ideal para una bomba con carga llena

Fuente: Theta Enterprises, Inc. 1989-2005

Donde:

A: Comienza la carrera ascendente. La válvula viajera se cierra y la carga sobre las varillas aumenta instantáneamente de “A” a “B”, por la carga tomada del fluido.

B-C: La carga sobre las varillas es constante. Se desplaza el pistón hacia arriba, con la válvula viajera cerrada.

³¹ Mediateca. Rimed. Cu

C: Es el punto alto y final de la carrera de ascenso donde la válvula viajera se abre, la válvula fija se cierra y la carga del fluido se transfiere a la tubería causando que la carga sobre las varillas baje instantáneamente del punto C al D.

D-A: El pistón desciende con la válvula viajera abierta sin representarle carga del fluido en la varilla.

Cuando se tiene en cuenta el efecto del estiramiento de la varilla y el encogimiento de la sarta, se obtiene una carta dinamométrica mostrada en la Figura N°53 a continuación:

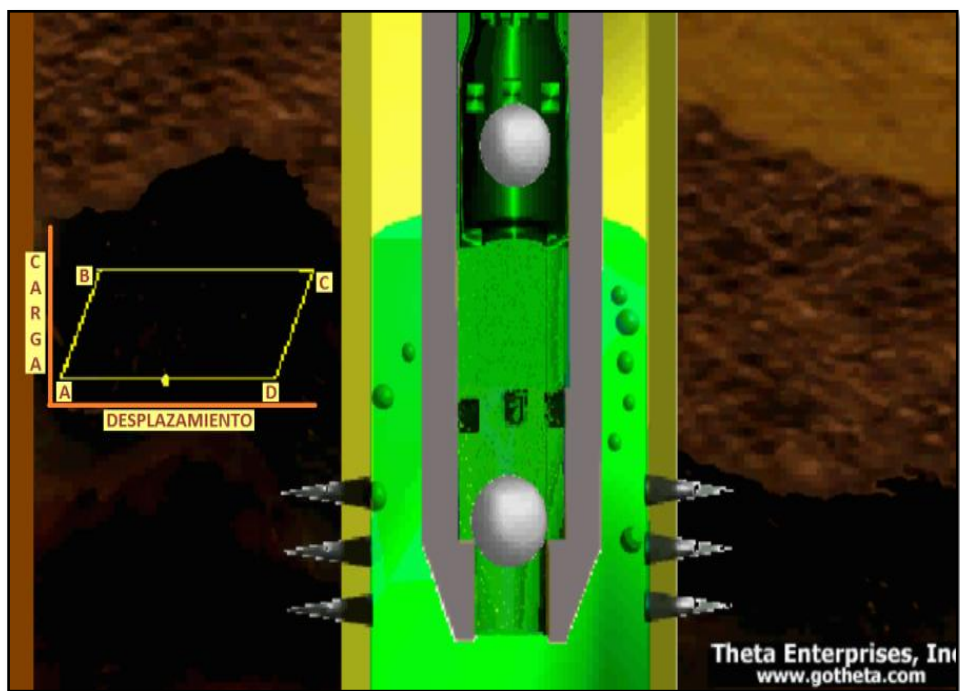
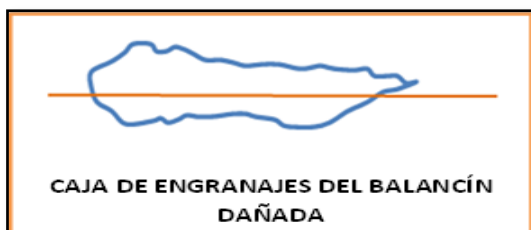
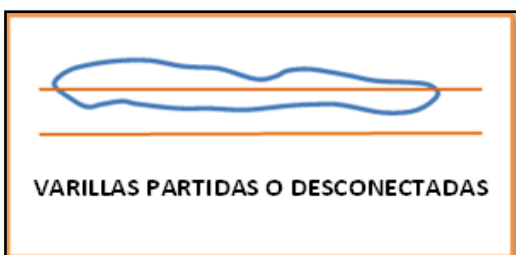


Figura N° 53.- Carta Dinagráfica ideal para una bomba con carga llena

Fuente: Theta Enterprises, Inc. 1989-2005

En la Figura N°54 se muestran varios casos de lecturas de Cartas Dinagráficas según los problemas que se presentan en los pozos.

Por ejemplo se tienen casos como válvula viajera dañada, válvula fija cortada, pistón golpeado arriba, en fin los casos más comunes presentados y que serán de gran ayuda para poder analizar el funcionamiento y eficiencia del equipo de bombeo mecánico.





BOMBA DE VARILLAS SALIENDOSE DE LA ZAPATA AL FINAL DE LA CARRERA ASCENDENTE Y ENTRANDO A LA CARRERA DESCENDENTE



BOMBA PEGANDO EN LA CARRERA ASCENDENTE SIN SALIR DE LA ZAPATA



LA ARENA ATASCA O CASI ATASCA EL PISTÓN EN LA BOMBA



PISTON DE LA BOMBA GOLPEANDO EN LA ARENA



VALVULA FIJA PESCADA EN BOMBA DE TUBERÍA



NIVEL DE FLUIDO COINCIDE CON LA VALVULA FIJA



POZO BOMBEADO COMPLETO



LINEA DE CARGA MOSTRANDO LA VÁLVULA VIAJERA MALA



LINEA DE CARGA MOSTRANDO LA VÁLVULA FIJA MALA



TUBO DE SUCCIÓN TAPADO CON ARENA



Figura N° 54.- Lectura de Cartas Dinamométricas Características de los Casos más Comunes
Fuente: Estudio para el cambio de Levantamiento Artificial a Bombeo Mecánico en el Campo Lago Agrio operado por EP-Petroecuador; Autores: Campos Orlando y Panchi Cristian.
Realizado por: Melina Estrada B.

CAPITULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA LOWIS™

3.1. DEFINICIÓN DE LOWIS™

Es un Software de información de vida útil de un pozo, desarrollado por la empresa Weatherford, mediante la supervisión en tiempo real, creado con la finalidad de optimizar la producción previniendo mediante alarmas problemas presentados durante la vida productora del pozo. LOWIS™ está integrado y orientado a la optimización de operaciones en pozos productores, en campos jóvenes y maduros en busca del mejoramiento en la eficiencia y efectividad de procesos de producción.

3.2. CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LOWIS™

LOWIS™ durante la combinación de varias herramientas supervisión, análisis y administración en una sola aplicación proporciona al usuario la oportunidad de identificar y responder más rápidamente a la amplia variedad de problemas que pueden surgir en las operaciones de crudo y gas. En la Figura N°55 se resumen las características importantes que posee el programa LOWIS™.



Figura N° 55.- Características importantes de LOWIS™ Beam

*Fuente: Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico. .
Elaborado por: Melina Estrada B.*

Así mismo LOWIS reúne aspectos administrativos de servicios de pozo, incluyendo planificación de trabajos y finanzas.

3.3. FUNCIONABILIDAD DE LOWIS™ PARA SISTEMAS CON BOMBEO MECÁNICO.

LOWIS™ Beam ejecuta la función de una interfaz para visualizar e interactuar con cualquier data o información de producción, provee funcionabilidad de sistema SCADA total para monitorear, controlar y diagnosticar el desempeño de pozos. (Ver Gráfico N°04).

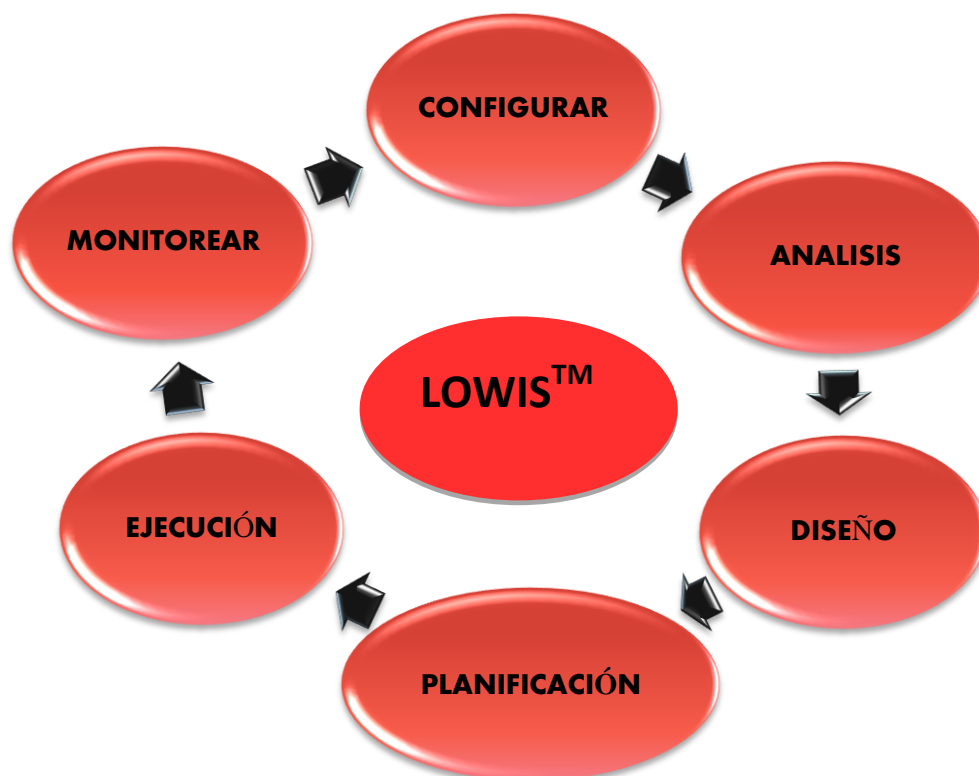


Gráfico N° 04.- Proceso y mejora continua mediante LOWIS™ Beam
Fuente: Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada

3.4. BENEFICIOS DE LOWIS™ BEAM

Los beneficios que nos ofrece LOWIS™ Beam están enfocados al dominio de la producción, este desempeño se debe a la implementación de un sistema integrado de adquisición y monitoreo de data en tiempo real, así como el control y la optimización de los sistemas de bombeo, usando información y herramientas necesarias para optimizar las operaciones, mejorando la eficiencia del bombeo, reduciendo el tiempo muerto y la producción diferida e incrementando la vida útil de los pozos.

Entre los beneficios más importantes que nos ofrece LOWIS los resumimos en el siguiente Gráfico N°05 que presentamos a continuación:

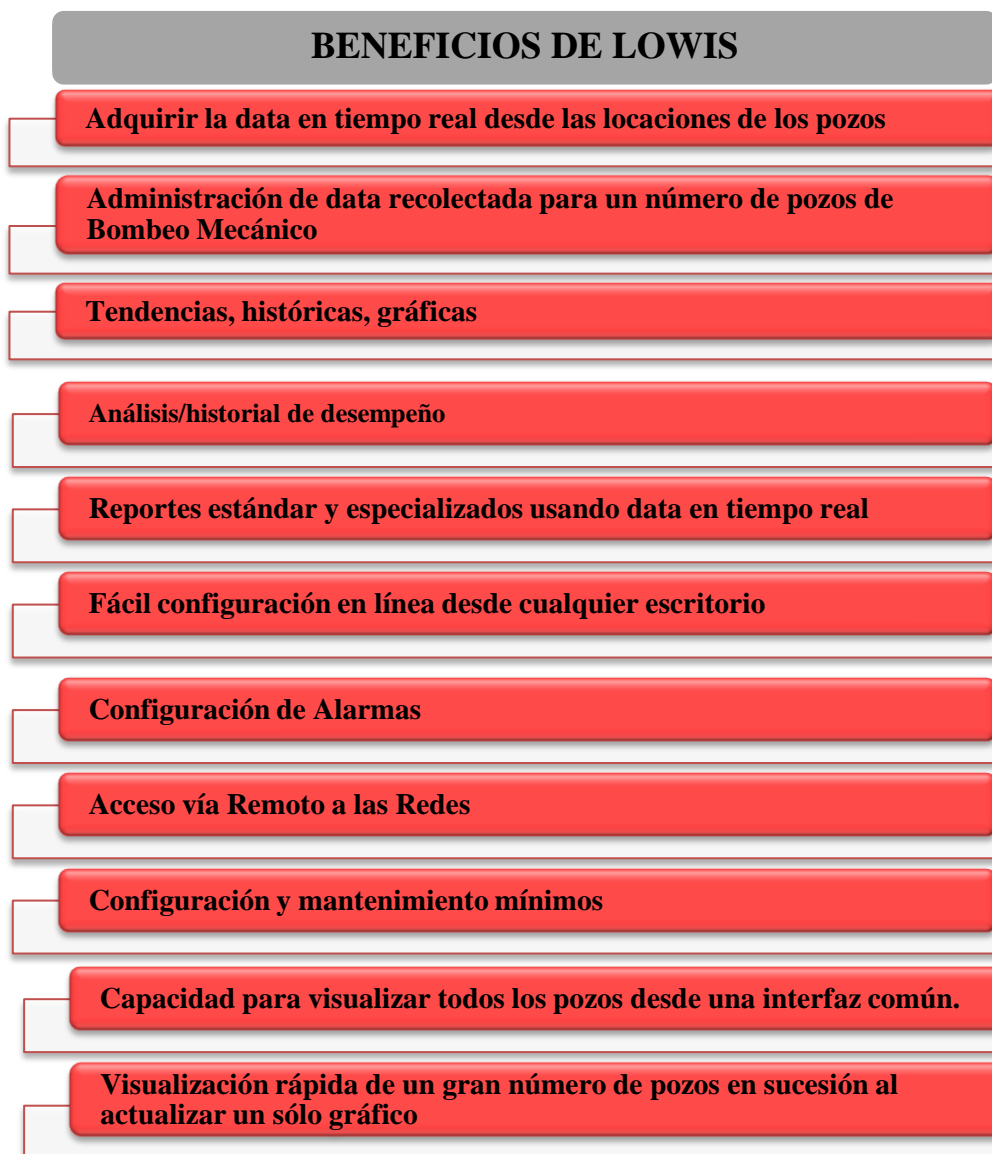


Gráfico N° 05.- Beneficios que ofrece el software LOWIS™ Beam
Fuente: Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada

3.5. ESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN DE LA HERRAMIENTA LOWIS™ BEAM.

La conectividad Web o de red que posee LOWIS™ Beam permite una mayor flexibilidad que facilita la interacción bidireccional con la data y controladores en tiempo real, actuando como guía a los

usuarios en la ubicación rápida de herramientas necesarias que nos ayudan a alcanzar y optimizar trabajos secuenciales.

El programa para ser utilizado en el oriente ecuatoriano se ha configurado mediante el sistema SCADA a través de controladores que configurados e interconectados con el software LOWIS™ Beam se encuentran comunicados a través de herramientas de comunicación como la fibra óptica. (Ver Figura N°56)



Figura N° 56.- Proceso y mejora continua mediante LOWIS™ Beam
Fuente: Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada

3.6. INTERFAZ DE APLICACIÓN LOWIS™ BEAM

El interfaz de aplicación de LOWIS está conformado por cinco herramientas y paneles de navegación primarios utilizados para desplazarse por el sistema:

- **Navegador.-** Estos cuatro paneles permiten filtrar y encontrar pozos para mostrar y trabajar en el panel de contenido principal.
- **Inicio.-** Este botón provee acceso a varias vistas del sistema, de acuerdo al grupo de flujo de trabajo en el cual se esté trabajando.
- **Barra de Vista.-** Esta barra lista el nombre en la vista activa en la cual se está trabajando.
- **Principal.-** Este es el panel de contenido principal, en el cual se despliegan las vistas del sistema, gráficos o reportes.

En la Figura N°57 se puede observar cómo está estructurado el interfaz de aplicación de LOWIS™ Beam.

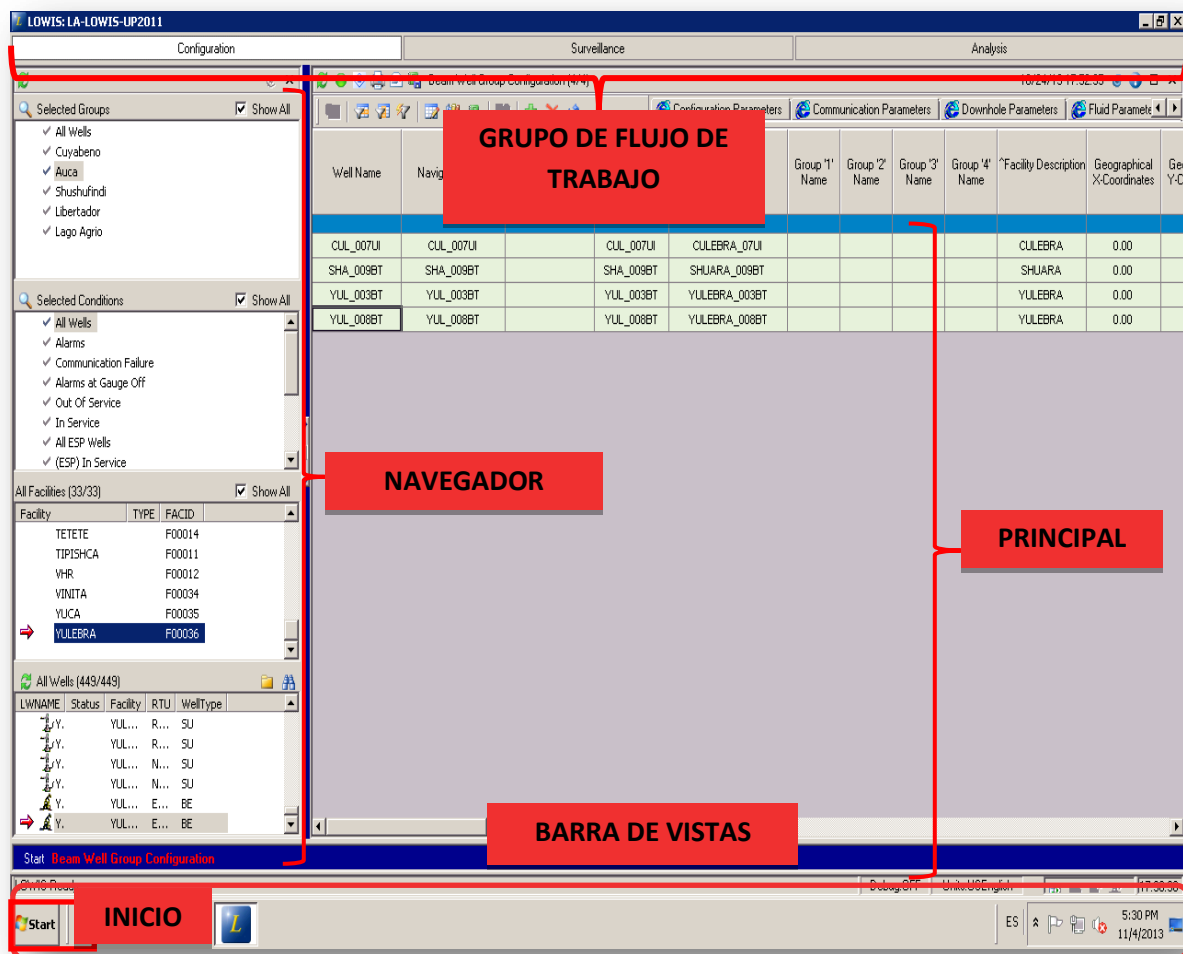


Figura N° 57.- Interfaz de Aplicación de LOWIS™ Beam

*Fuente: Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

3.6.1. Navegador LOWIS™

“Es una herramienta de consulta utilizada para seleccionar pozos y grupos de pozos que se quiere configurar, monitorear y analizar. En la Figura N°58 se muestran las ventanas del Navegador de LOWIS™ Beam.

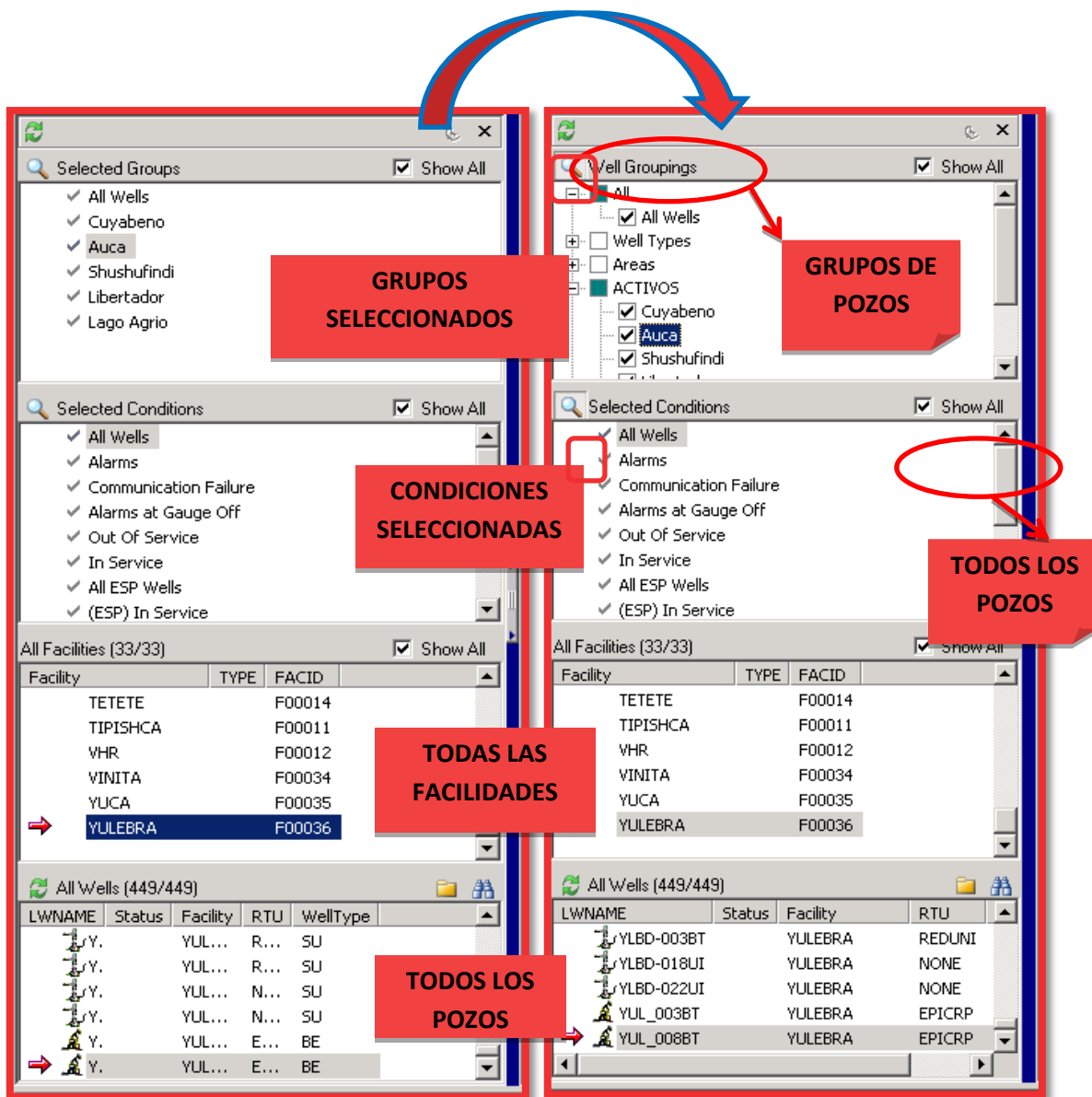


Figura N° 58.- Navegador LOWIS™ Beam
Fuente: Weatherford. LA. Software LOWIS™ Beam
Realizado por: Melina Estrada B.

- **Grupos Seleccionados.-** Esta sección superior puede ser descrita como estática, es decir, que los grupos de pozos no cambian. Estos grupos podrían ser concesiones, rutas de operadores, regiones geográficas o cualquier otro criterio estático.
- **Condiciones Seleccionadas.-** Esta segunda sección puede ser pensada como dinámica, y podría incluir grupos tales como estado de pozo o condición. Esta sección es un subconjunto de los Grupos Seleccionados.
- **Todas las Instalaciones.-** Esta tercera sección es una lista de aquellas facilidades que satisfacen el criterio de las selecciones tomadas en Grupos Seleccionados y Condiciones Seleccionadas.

- **Todos los Pozos.-** Esta sección inferior lista los pozos basada en los criterios de selección de todos los tres grupos de navegación.³²

3.6.2. Inicio

El sistema LOWISTMBeam posee un menú de Inicio en la esquina inferior izquierda de la aplicación.

Se le puede usar para seleccionar pantallas con las cuales ver e interactuar con data. Estas pantallas son referidas variadamente como vistas, paneles o diagramas.

3.6.3. Barra de vista

LOWISTMBeam contiene un gran número de vistas de sistema estándar. También puede crear vistas nuevas o personalizadas que serán guardadas en el Almacén LOWISTMBeam para acceso futuro.

Se pueden acceder a todas las vistas seleccionando primero un Grupo de Flujo de trabajo desde la parte superior de la pantalla y luego haciendo clic en el menú de inicio.

Cada Grupo de Flujo de Trabajo posee un conjunto asociado de categorías dentro del menú de inicio, y cada categoría contiene un conjunto de vistas de sistema, desde las cuales escoger para tener mayor facilidad de ingreso a las pantallas requeridas por el usuario.

3.6.4. Principal

El panel principal se usa a modo de escritorio, puede desplegar hasta cuatro vistas simultáneamente, que visualizan las pantallas del sub-menú escogido. Para un arreglo de dos pantallas, la vista seleccionada se abre debajo de la primera en el panel principal. Si se añade una tercera vista, la segunda vista se mueve hacia el cuadrante superior derecho del panel principal, mientras que la tercera vista aparece en la mitad inferior. Una cuarta vista, cuando se añade, aparece en el cuadrante inferior derecho. Las vistas actuales deben ser del mismo Grupo de Flujo de Trabajo y la misma categoría que la del menú de Inicio LOWISTMBeam.

3.6.5. Grupos de flujo de trabajo de LOWISTMBEAM en pozos con Bombeo Mecánico

Los grupos de trabajo son aquellos que representan las partes importantes de LOWISTMBeam, con lo que se puede acceder a vistas y funcionalidades relevantes.

Los grupos de trabajo que tenemos en LOWISTMBeam son: Configuración, Monitoreo y Análisis.

³² Manual de LOWISTMBeam para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.

3.6.5.1. Configuración

Este grupo de trabajo nos permite añadir, borrar o cambiar la información de un pozo o un grupo de pozos y su historial.

También es posible configurar puntos (análogos y discretos) así como medidores, equipos, controladores y RTU'S. Además de cualquier proceso en el cual se añada, cambie o borre cualquier cosa de los pozos, RTU'S, controladores, etc. Se hace el flujo de Trabajo de Configuración.³³

3.6.5.1.1. Configuraciones generales de pozo

Las propiedades de configuración de pozos y parámetros de comunicación generales para todas las configuraciones, excepto las WSM, incluyen lo siguiente:

Nombre: El identificador único y común.

Nombre en Navegador: El nombre de pozo tal como aparece en el Navegador LOWIS™.

ID Única de Pozo (API 10): El denominador numérico (API 10) único para el pozo.

ID Única de Boca de Pozo (API 12): El denominado numérico (API12) único para la boca del pozo.

ID Única de Intervalo (ALI14): Es aquel que es único para el intervalo.

CA OD: El identificador único usado por un sistema corporativo de contabilidad/mantenimiento.

Nombre Largo: El nombre completo usado para identificar un pozo.

Grupo 1-4: Los grupos configurables de pozo usados para ordenar y categorizar pozos individuales. Estos grupos de pozos aparecen en el Navegador LOWIS™ y son útiles para filtrar pozos en el sistema.

Facilidad: El nombre de la facilidad a la que pertenece el pozo.

Coordenadas X geográficas: Un valor que controla la ubicación “izquierda a derecha” de los ítems individuales en un mapa de bits o pantalla gráfica.

Coordenadas Y geográficas: Un valor que controla la ubicación “de arriba abajo” de los ítems individuales en un mapa de bits o pantalla gráfica.

³³ *Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.*

3.6.5.1.2. Configuración de Parámetros

▪ Parámetros de Comunicación

En el Gráfico N°06 se resumen los parámetros importantes en la configuración para LOWIS.

Controlador de Bombeo Mecánico	•El tipo de Controlador de Bombeo Mecánico instalado en cada pozo.
Tipo de Controlador	•El fabricante y tipo de controlador instalado en el pozo.
Puerto de comunicaciones	•El puerto de comunicaciones del servidor
Protocolo de Comunicaciones	•El mecanismo mediante el cual dos dispositivos se comunican o intercambian información significativa y en tiempo real.
Dirección de Comunicaciones	•Dirección de radio de la locación del pozo.
Dirección Alternativa (I/OPC/Teléfono)	•La dirección con la cual está registrado el servidor OPC. O la dirección de la RTU cuando se conecta con otras RTU's.
Reintentos de Comunicación	•El número de veces que el programa intenta comunicarse con el controlador o RTU antes de dar falla y seguir con el siguiente pozo.
Retardo de Inicio de transmisión	•El tiempo (en milisegundo) desde que la radio es activada hasta que se inicia la transmisión del mensaje.
Retardo de Cierre de Transmisión	•El tiempo (en milisegundos) desde que el último byte del mensaje ha sido transmitido hasta que cesa la transmisión del mensaje.
Retardo de Alarma	•El número de escaneos consecutivos con fallas de comunicación antes de generarse la alarma. Por ejemplo, 2 significaría que una alarma se generaría después de dos fallas de comunicación en dos escaneos consecutivos.
Retardo de Despeje	El número de escaneos consecutivos a retardar antes de despejar la alarma (1 permitiría a las alarmas despejarse después de un escaneo bueno).

Gráfico N° 06.- Parámetros de Comunicación de LOWIS™ Beam
Fuente Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.

▪ **Parámetros de Pozos con Bombeo Mecánico**

En el Gráfico N°07 se describen los parámetros de pozos para Bombeo Mecánico.

PARÁMETROS DE POZOS CON BOMBEO MECÁNICO		
PARÁMETROS DE SUPERFICIE	PARÁMETROS DE FONDO DE POZO	PARÁMETROS DE FLUIDOS
<p>* EMBOLADA REAL</p> <p>* ROTACIÓN</p> <p>* MÉTODO DE CALC. TORQUE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - API. LOWIS™, - Jennings. LOWIS™, - Mills. LOWIS™ <p>* TIPO/TAMAÑOS DE MOTOR:</p> <ul style="list-style-type: none"> - NEMA - DA - GAS <p>* TORQUE DE DESLIZAMIENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grado de deslizamiento para motores clasificados Nema - Rango de torque para motores de Alto Deslizamiento <p>* CBT (1000-pulg-lb):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bajo Condiciones de Distancia (pulg.) - Contrapeso Auxiliar - Peso+ - Peso - - Amperes Medidos Motor (Asc/Desc) - - Pres. Balance Aire (Máxima/Mínima). <p>* CBE (1000-pulg)</p> <p>* ANGULO CB (grad)</p> <ul style="list-style-type: none"> - De ser necesario 	<p>* PROFUNDIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perforación Superior (pies) - Perforación de Fondo (pies) - Ancla (pies) - Profundidad Total Plug-Back (pies) - Medida en Bomba (pies) - Vertical de la Bomba (pies) <p>* ID DE LA BOMBA (Pulg.)</p> <p>* VÁLVULA CASING ABIERTA</p> <p>* OD CASING (PULG.)</p> <p>* PESO DEL CASING (LBS/PIE)</p> <p>* OD TUBING</p>	<p>* TASA</p> <p>Crudo (b/d), Agua (b/d), Gas (MCF), Fecha Última Prueba</p> <p>* GRAVEDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> - API Crudo - Agua - Gas <p>* TUBING</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presión (psi) - Gradiente (psi/pie) - Temperatura Cabezal de Pozo (°F) <p>* CASING</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presión (psi), Corte Crudo (# < 1) - Nivel de Fluido desde Superficie (pies) - Fluido Sobre la Bomba (pies) - Fecha Toma de Fluido <p>* USAR INERCIA DE FLUIDO PARA ANÁLISIS</p> <p>* COMENTARIOS</p>

Gráfico N° 07.- Resumen de Parámetros de Configuración para pozos con Bombeo Mecánico
Fuente: Weatherford.LA. Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.

3.6.5.1.3. Configuración de puntos de Data

Para el monitoreo de los pozos, recolección data para graficado de tendencias, análisis y visualización, los puntos de data físicos deben ser configurados, para esto tenemos que un punto de data físico puede ser uno de los siguientes tres tipos de data básicos resumidos en el Gráfico N°08:

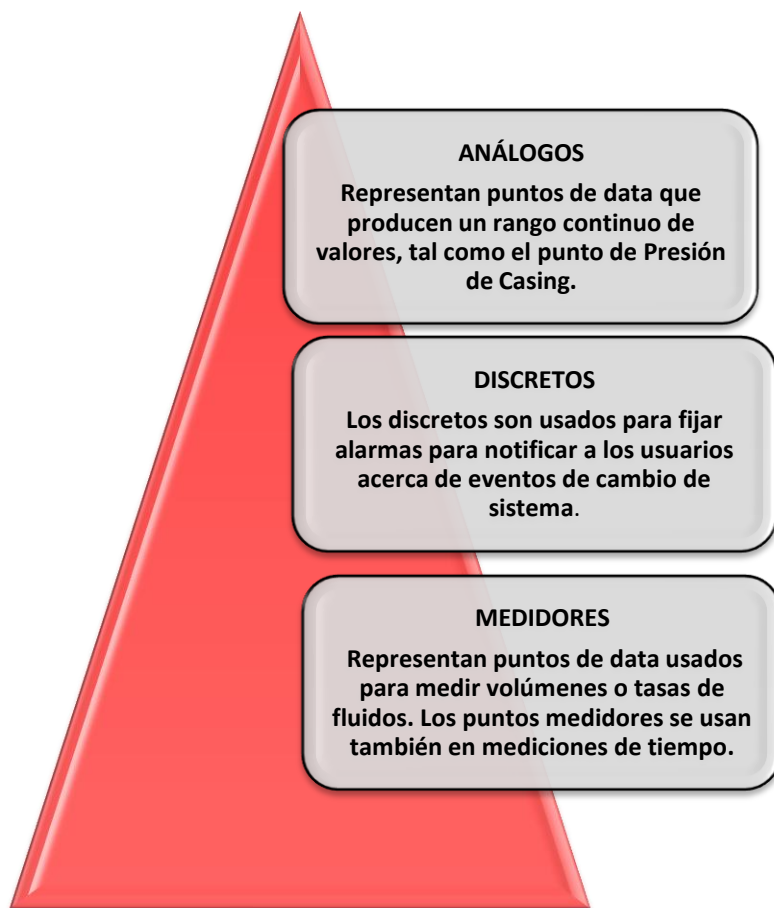


Gráfico N° 08.- Resumen de Configuración de Puntos Data.

Fuente: Manual de Software LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford.LA

Realizado por: Melina Estrada B.

3.6.5.2. Monitoreo

“En el monitoreo se describe cómo usar las pantallas de supervisión de LOWIS™Beam para monitorear los estados de facilidades, pozos, puntos de data y separadores.

Este grupo de trabajo de supervisión es aquel que soporta todos los aspectos del monitoreo de la producción en tiempo real. Se pueden monitorear condiciones actuales y pasadas para un grupo de pozos, tal es el caso de las alarmas, parámetros y estado. Se pueden ajustar la configuración del controlado por medio de las vistas de sistemas de supervisión”.³⁴

3.6.5.2.1. Estado de producción de grupo de pozos

Las herramientas que posee LOWIS™Beam permiten monitorear la producción de todos los pozos, poner pozos en y fuera de servicio, añadir o editar tiempos muertos y ver alarmas. También se puede ver los pozos agrupados por método de producción a través de la vista y a través de alarmas.

La vista de Estado de Grupo de Separadores ofrece reportes específicos para pruebas y funcionalidades adicionales, incluyendo una Hoja de Cálculo de Prueba de Pozo, la cual permite ingresar y modificar parámetros de pruebas de pozo sobre una base pozo por pozo.

3.6.5.2.2. Estado de grupo de pozos de bombeo mecánico.

La tabla de Grupo de Pozos de Bombeo Mecánico provee información relevante para pozos de bombeo mecánico, incluyendo mensajes de alarma, horas en estado, tiempo corrida porcentual, etc. Por medio de ésta tabla se pueden escanear pozos, arrancarlos y detenerlos, pedir pruebas de pozo o poner pozos en y fuera de servicio. También se puede acceder a las funciones de registro de Notas (Comentarios), Historial de Alarmas de Pozo, Gráfica de Tiempo de Corrida y Editar tiempo muerto.

- **Gráfica de Tiempo de Corrida**

La gráfica de análisis de tiempo de corrida, provee pantallas gráficas del tiempo de corrida, desviación y ciclos por vida.

En la Figura N°59 que se muestra a continuación se puede ver la pantalla donde se muestra la gráfica del tiempo de corrida utilizada para el monitoreo de los pozos en LOWIS™Beam.

³⁴ Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.

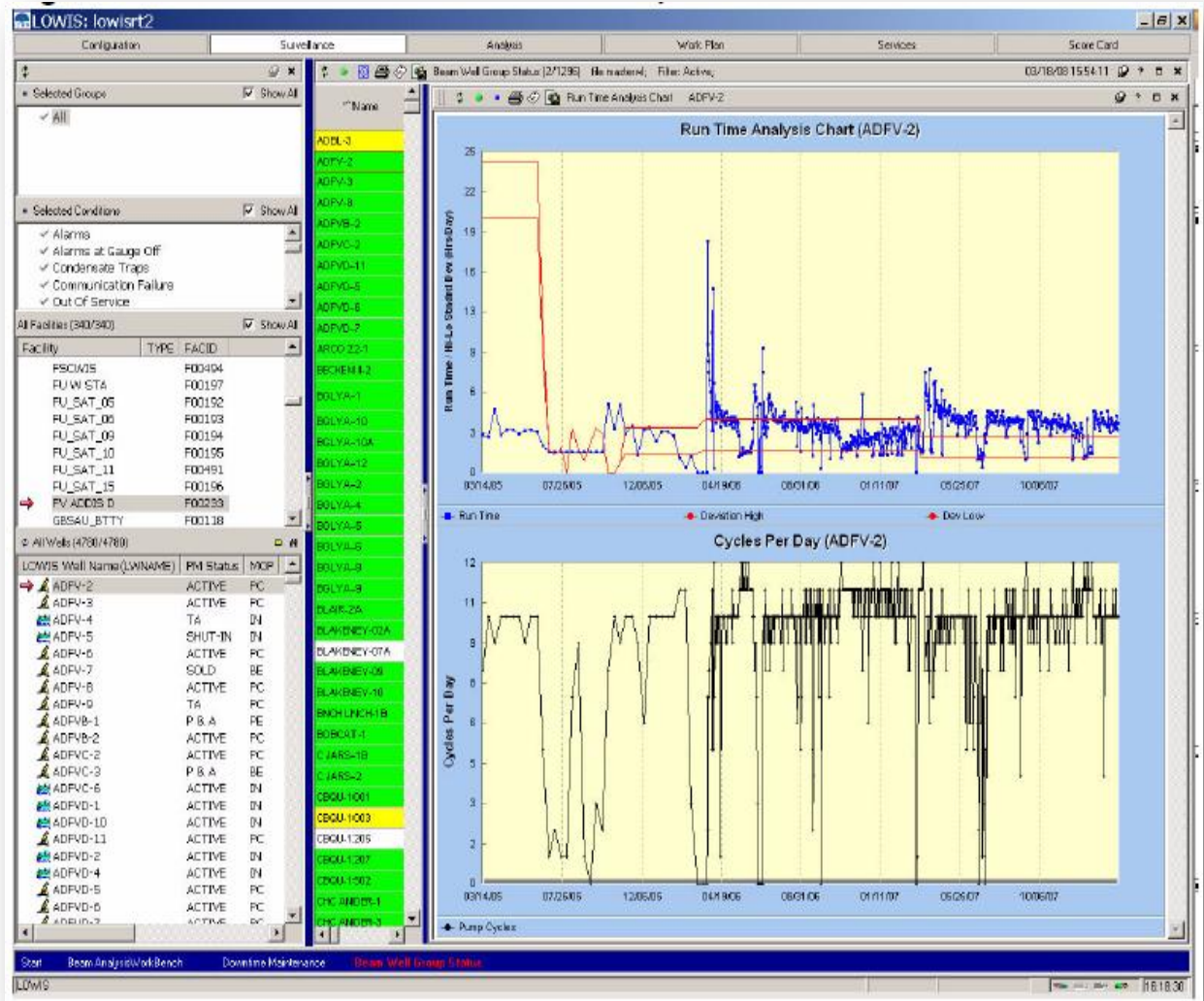


Figura N° 59. Gráfica de Análisis de tiempo de corrida

Fuente: Manual de LOWISTM Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA

- **Estado Actual del Pozo**

En esta pantalla podemos ver el Estado Actual de cualquier pozo. Para un pozo de Bombeo Mecánico incluye información actualizada acerca del estado del pozo como alarmas, desviación de tiempo de corrida, lectura de análogos, últimas tasas de pruebas buenas e información acerca de la unidad de bombeo y su controlador, además se pueden añadir comentarios.

En la Figura N°60 se muestra a continuación se puede ver el estado actual de un pozo de Bombeo Mecánico.

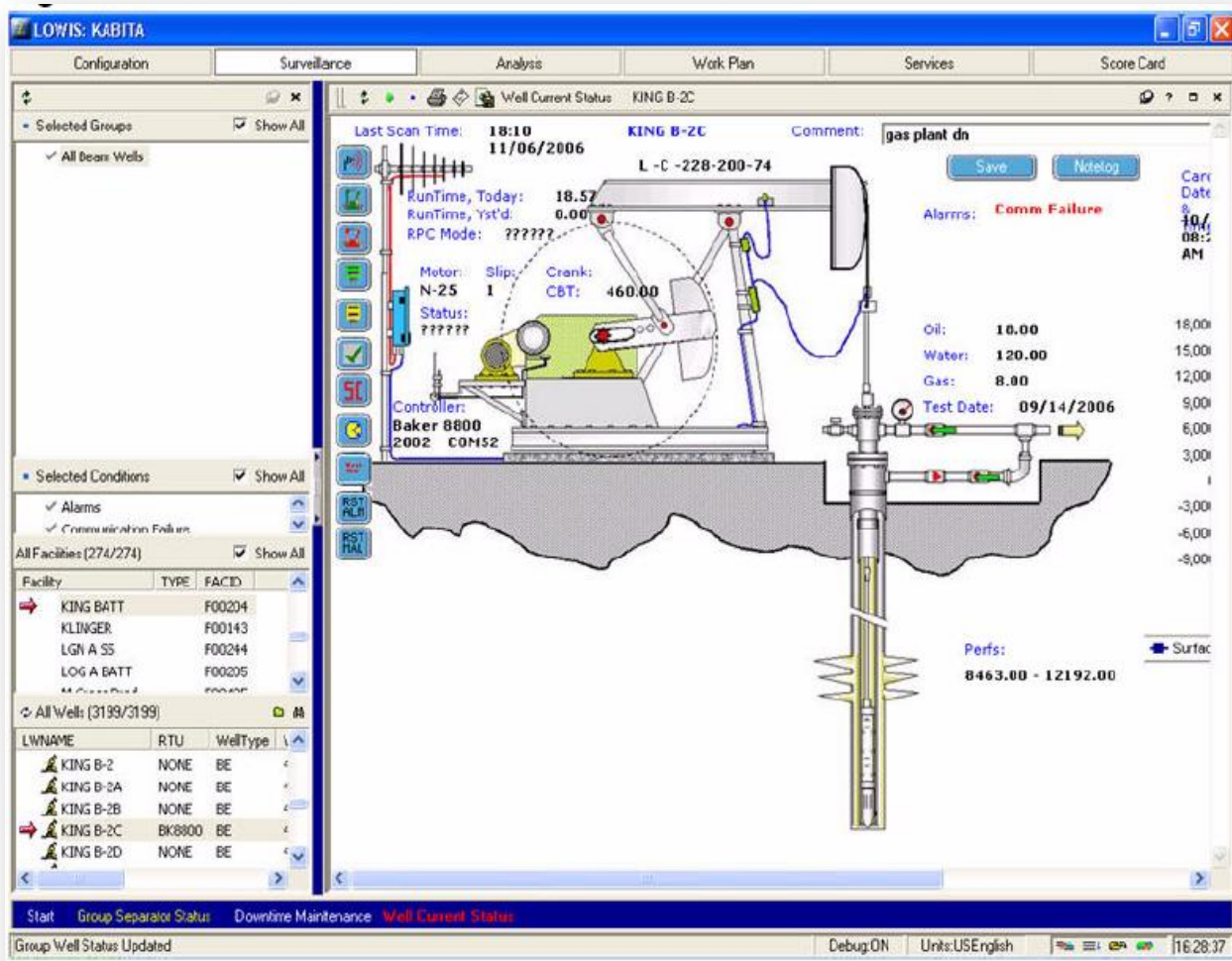


Figura N° 60. Estado Actual del Pozo

Fuente: Manual de LOWISTM Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA.

- **Estado de puntos**

Se pueden ver todos los estados de puntos de Puntos de data por pozo a través de la vista de Estado de Puntos. También podemos ver sólo los puntos de análogos, medidores por pozo y discretos.

En la Gráfico N°09 que mostramos a continuación se resumen el estado de puntos Data en el programa LOWISTM Beam.

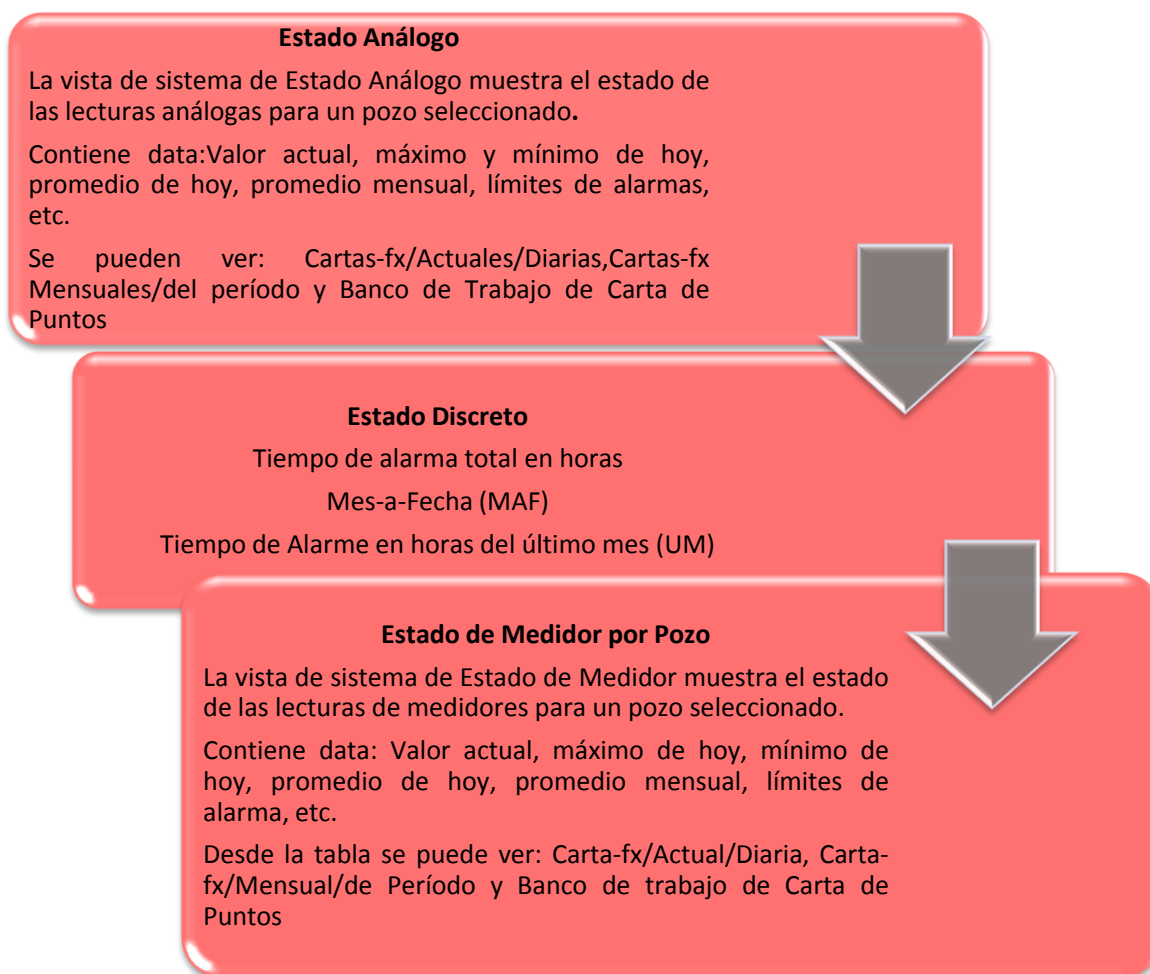


Gráfico N° 09.- Resumen de Estado de Puntos de Data
Fuente: Manual de LOWIS™ Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA
Realizado por: Melina Estrada B.

3.6.5.3. Análisis

Las vistas de sistema en el Grupo de Trabajo de Análisis le permiten analizar la data recolectada en el proceso de supervisión e identificar problemas de desempeño de pozos. Se pueden definir los problemas rápida y más precisamente, simplificando la optimización de producción. Todos los grupos están integrados, y como resultado de ello, es más fácil optimizar el desempeño y reducir el tiempo muerto.”³⁵

³⁵ Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.

3.6.5.3.1. Desempeño de pozos de Bombeo Mecánico

Las herramientas de monitoreo de desempeño de LOWIS™ Beam identifican variaciones en el desempeño de pozos individuales basadas en características calculadas de Superficie, Producción y Fondo de Pozo.

- **Desempeño de grupo en superficie**

El desempeño de grupo de superficie muestra el área de carta para grupos seleccionados de pozos de bombeo mecánico, mostrando data de desempeño para cada pozo basado en diferentes criterios de medición. Además identifica aquellos pozos con problemas que puedan encontrarse a través de una comparación histórica de tiempo de corrida y área calculada de carta. En la Figura N°61 se puede ver la pantalla donde se observa el desempeño de un pozo en superficie.

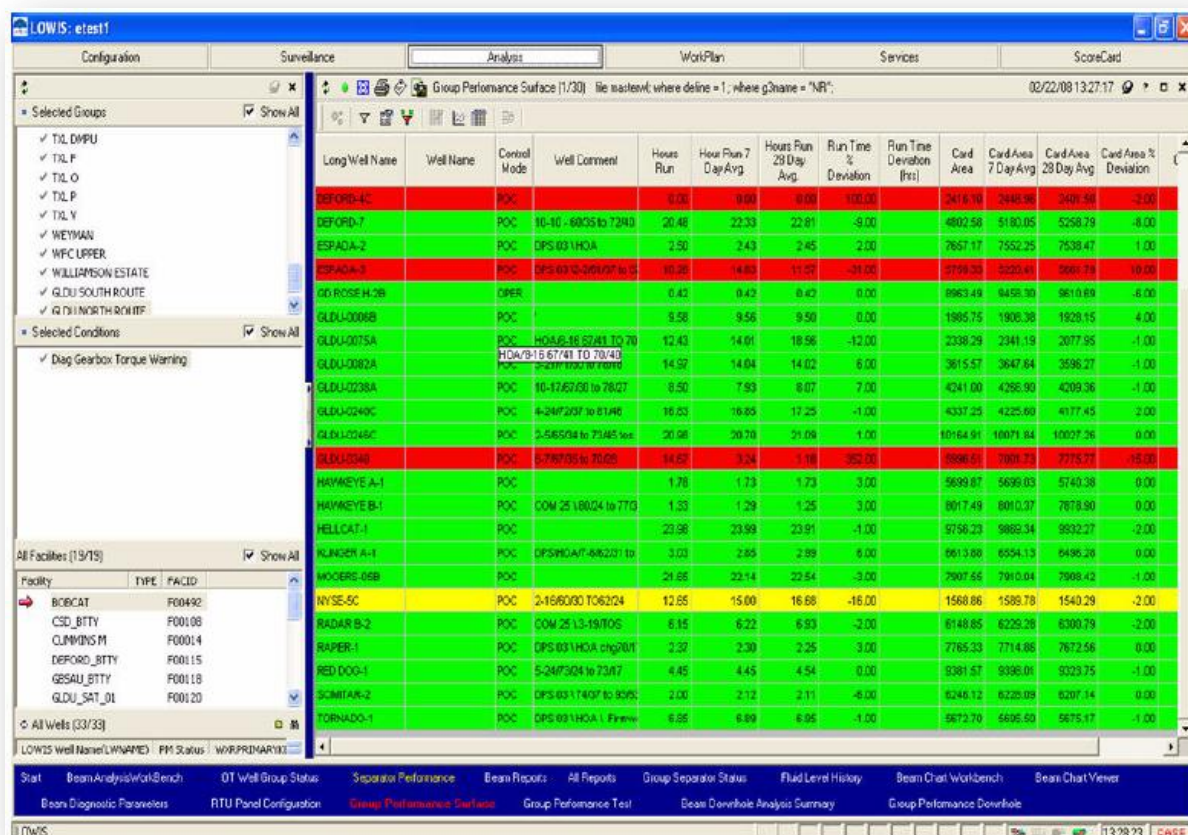


Figura N° 61. Desempeño de Grupo en Superficie

Fuente: Manual de LOWISTM Beam para pozos con Bombeo Mecánico, Weatherford.LA.

- **Desempeño de Grupo de Prueba**

El desempeño de grupo de prueba identifica pozos problemáticos, los cuales pueden ser comparados mediante la comparación histórica de resultados de pruebas de pozo y la eficiencia calculada de bombeo.

Éste grupo muestra una comparación de la última prueba, promedio de las últimas diez pruebas, diferencia, eficiencia volumétrica presente, eficiencia promedio así como cualquier diferencia para el grupo seleccionado de pozos.

En la Figura N°62 se muestra la pantalla de cómo se encuentra un Grupo de Desempeño de Prueba.

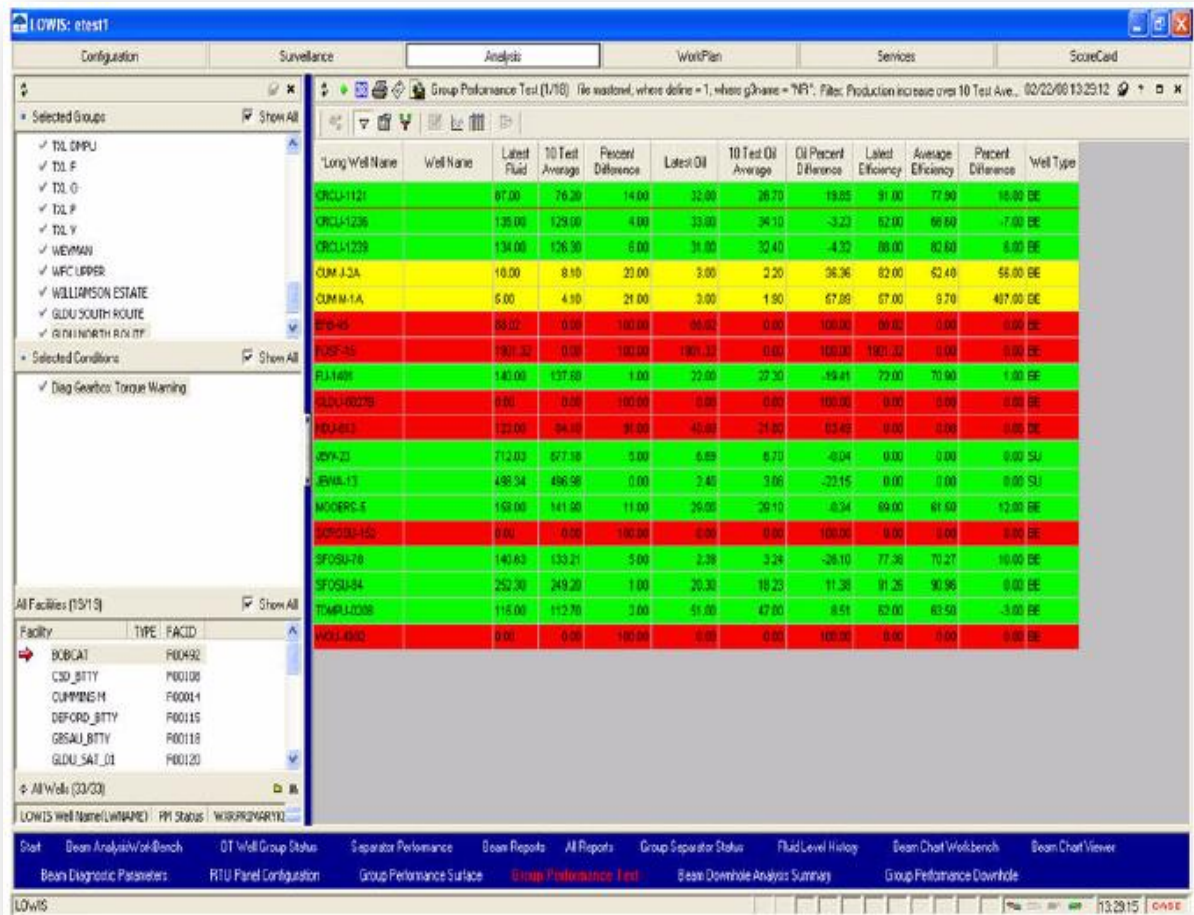


Figura N° 62. Desempeño de Grupo de Prueba

Fuente: Manual de LOWIS™ Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA.

- **Desempeño de grupo de fondo**

El desempeño de grupo de fondo de pozo muestra data de desempeño para cada pozo basada en diferentes criterios de medición. Identificando pozos problemáticos, los cuales pueden ser encontrados a través de una comparación histórica del torque de la caja de cambios, carga del balancín, eficiencia de bombeo y producción.

En la Figura N°63 se muestra a continuación se puede ver la pantalla desplegada con el Desempeño de Grupo de Fondo. Y en el Gráfico N°10 se puede observar un resumen del Desempeño de los Pozos de Bombeo Mecánico.

Long Well Name	Well Name	API Pumping Unit	Stroke Length	Unit RPM	Peak GB Torq (ft)	Peak GB Torq (lb-ft)	Peak GB Torq (in-lb)	Peak GB Torq (in-lb)	Peak GB Torq (in-lb)	Beam Load	Pump Size	Pump Efficiency	Gross Prod	Yield	Runtime	R
BLAKNEY-03A		C 180 179 84	64.30	7.45	64.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	77.00	1.25	0.00	0.00	1.73		
BOBCAT-1		C 840 365 168	148.30	7.79	46.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	60.00	1.75	148.51	243.00	12.50		
C JARS-2		A C 840 365 168	148.30	8.89	65.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	73.00	1.75	66.36	372.00	24.00		
COL POTR B-1		L C 840 365 168	148.30	5.11	55.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	56.00	1.50	15.50	7.00	4.63		
CSD-1		A C 840 365 168	143.50	8.16	65.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	52.00	1.75	65.92	350.00	23.98		
CUMM-2A		L C 225 200 84	73.30	10.81	47.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	67.00	1.50	95.51	5.00	0.90		
CUTLASS-5		L C 840 365 168	148.30	5.11	71.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	64.00	1.50	28.51	8.00	2.57		
DEFORD-4C		A C 840 353 144	86.50	7.20	78.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	49.00	1.50	230.52	299.00	0.00		
DEFORD-7		A C 450 304 144	117.20	8.70	79.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	64.00	1.50	67.96	135.00	20.48		
ESPADA-2		L C 840 365 168	148.30	5.19	69.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	57.00	1.50	144.36	25.00	2.56		
ESPADA-3		L C 840 365 168	148.30	7.84	67.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	63.00	1.50	1132.42	24.00	10.28		
GO ROSE H-2B		L C 840 365 168	148.30	7.58	73.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	59.00	1.50	0.00	10.00	0.42		
GLDU-0008B		E C 160 200 84	54.00	8.29	74.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	75.00	1.50	56.35	25.00	9.56		
GLDU-0075A		CA C 320 290 120	99.30	7.41	44.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	41.00	1.25	95.92	50.00	12.43		
GLDU-0032A		N C 320 290 100	99.30	7.69	73.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	02.00	1.50	47.44	50.00	14.87		
GLDU-0235A		N C 320 290 100	99.30	8.33	71.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	76.00	1.75	707.82	472.00	6.66		
GLDU-0240C		B C 320 290 100	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	1.75	-999.00	-999.00	16.81		
GLDU-0248C		A C 840 365 168	148.30	8.70	82.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	68.00	1.75	136.27	312.00	20.98		
GLDU-0340		A C 840 365 168	143.50	9.09	60.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	50.00	1.75	35.36	95.00	14.67		
HARVEY A-1		L M 320 254 120	119.30	5.22	75.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	79.00	1.25	2121.92	138.00	1.78		
HARVEY B-1		L C 840 365 168	148.30	5.15	76.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	52.00	1.50	747.38	48.00	1.33		
HELLCAT-1		L C 840 365 168	148.70	10.00	79.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	60.00	1.50	200.32	453.00	23.98		
HLINGER A-1		L C 840 365 168	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	-999.00	1.50	-999.00	-999.00	3.03		

Figura N° 63. Desempeño de Grupo de Fondo

Fuente: Manual de LOWIS™ Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA

DESEMPEÑO DE POZOS DE BOMBEO MECÁNICO

DESEMPEÑO DE GRUPO SUPERFICIE	DESEMPEÑO DE PRUEBA	DESEMPEÑO DE FONDO DE POZO
* NOMBRE LARGO DE POZO	* NOMBRE LARGO DE POZO	* NOMBRE LARGO DE POZO
* NOMBRE DE POZO	* NOMBRE DE POZO	* NO MBRE DE POZO
* MODO DE CONTROL	* VÁLVULA CASING ABIERTA	* UNIDAD DE BOMBEO API
* COMENTARIO DE POZO	* ULTIMO FLUIDO	* LONGITUD DE EMBOLADA
* HORAS DE CORRIDA	* PROMEDIO 10 PRUEBAS	* SPM DE UNIDAD
* HORAS DE CORRIDA PROMEDIO 7 DIAS	* DIFERENCIA PORCENTUAL	* % TORQUE PICO CC (TCC)
* HORAS DE CORRIDA PROMEDIO 28 DIAS	* ULTIMO CRUDO	* TORQUE PICO ASC CC (1000plg-lbs)
* % DESVIACIÓN TIEMPO DE CORRIDA	* PROMEDIO CRUDO 10 PRUEBAS	* TORQUE PICO DESC CC (1000plg-lbs)
* AREA DE CARTA	* DIFERENCIA S PORCENTUAL CRUDO	* % TCE PO PICO
* AREA DE CARTA PROMEDIO 7 DIAS	* ULTIMA EFICIENCIA	* % CARGA BALANCÍN
* AREA DE CARTA PROMEDIO 28 DIAS	* EFICIENCIA PROMEDIO	* TAMAÑO BOMBA
* % DE DESVIACIÓN AREA DE CARTA	* DIFERENCIA PORCENTUAL	* EFIC. BOMBA
	* TIPO DE POZO	* FLUIDO BRUTO
		* TIEMPO CORRIDA DE AYER
		* TIEMPO CORRIDA HOY
		* CICLOS DE BOMBEO
		* BPD CRUDO
		* TIPO CORTE
		* TIPO CARTA
		* HORA CARTA

Gráfico N° 10.- Resumen del Grupo de Pozos de Bombeo Mecánico

Fuente: Manual de LOWISTM Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA

Realizado por: Melina Estrada B.

3.6.5.3.2. Banco de trabajo de pozos con Bombeo Mecánico

El banco de trabajo permite al analista observar toda la información necesaria en varias formas para diagnosticar el problema y el comportamiento del pozo. Así se tiene que en el Gráfico N°11 se puede observar el resumen completo del Banco de Trabajo de Análisis de Bombeo Mecánico.



Gráfico N° 11.- Resumen de Banco de Trabajo de Análisis de Bombeo Mecánico
Fuente: Manual de LOWIS™ Beam para pozos con bombeo mecánico, Weatherford.LA
Realizado por: Melina Estrada B.

Una característica clave que tiene el banco de trabajo es la recolección de cartas dinámométricas guardadas en el sistema, las mismas que representan la condición operativa del sistema de bombeo mecánico.

3.6.5.3.3. Recolección de cartas

En la Gráfico N°12 se muestra un resumen de cartas utilizadas en LOWIS.



Gráfico N° 12.- Resumen de las diferentes cartas utilizadas en LOWIS™
Fuente: Manual de LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico, Weatherford.LA
Realizado por: Melina Estrada B.

“El número de cartas de búfer recolectadas y mostradas depende del número de cartas que el RPC en pozo puede almacenar en su memoria y de cuántas cartas está configurado LOWIS™ para mostrar; el valor por defecto es cinco. Algunos controladores no almacenan ciertos tipos de búferes.”³⁶

3.6.5.3.4. Análisis de Fondo de Pozo

Para analizar el fondo del pozo se utiliza una carta de fondo de pozo, la misma que representa las condiciones operativas de la bomba y de fondo de pozo, utilizando como base una denominada ecuación de onda.

LOWIS™ Beam genera esta carta ejecutando un análisis y realizando un mini reporte y un reporte detallado de análisis de fondo de pozo. En la Figura N°64 se muestra la pantalla desplegada para un Reporte de Análisis de Fondo de Pozo. En la Gráfico N°13 se tiene un resumen de los puntos importantes desplegados en el Análisis de Fondo de Pozo.

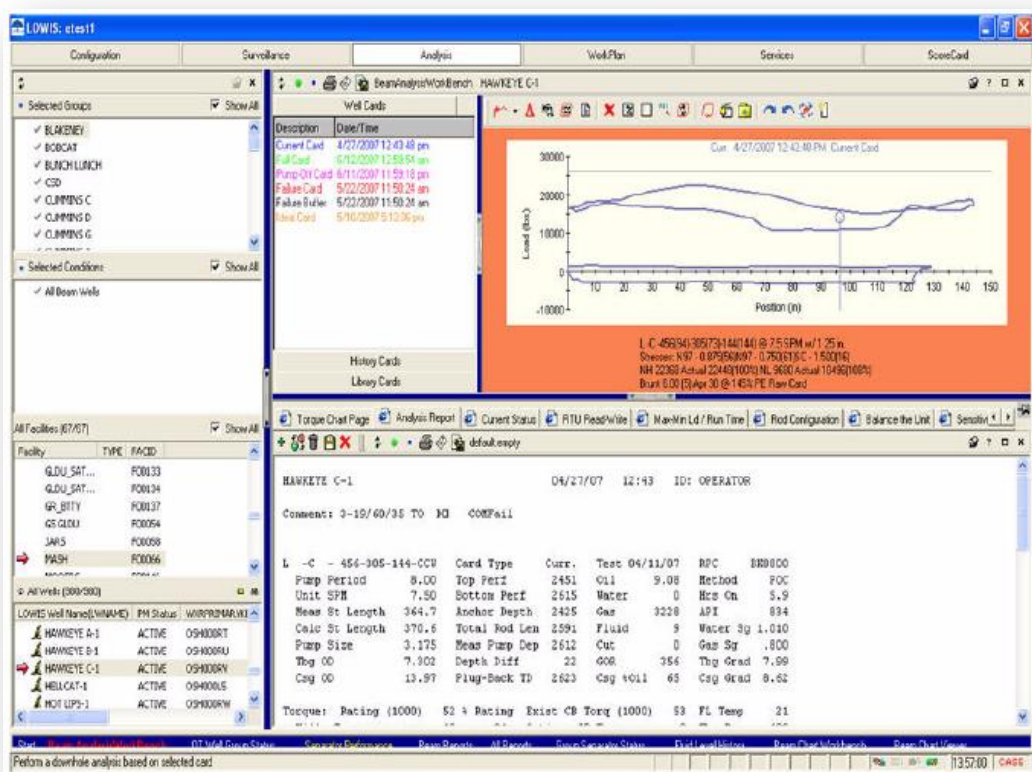


Figura N° 64. Reporte de Análisis de Fondo de Pozo en LOWIS™
Fuente: Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico, Weatherford.LA.

³⁶ Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.

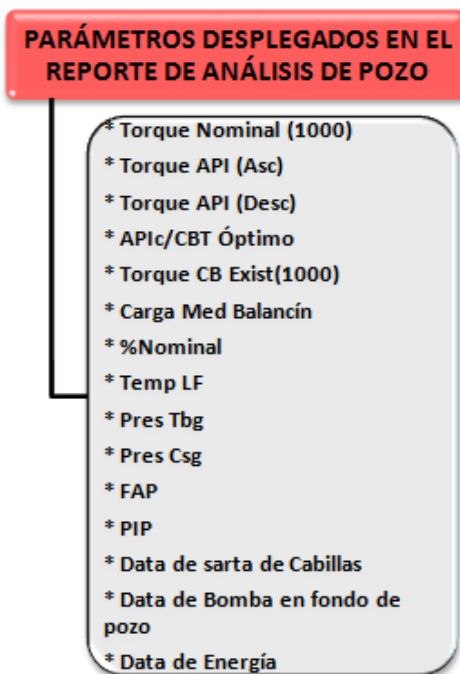


Gráfico N° 13.-Resumen de parámetros desplegados en el Reporte de Análisis
Fuente: Manual de LOWIS™ Beam para pozos con Bombeo Mecánico, Weatherford.LA
Realizado por: Melina Estrada B.

“Donde:

- ➡ Torque Nominal (1000).- Esta es la clasificación de la caja de cambios de la unidad de bombeo seleccionada y es la misma mostrada en la designación API de la bomba reciprocante en la parte superior de la sección de entrada.
- ➡ Torque API (1000).- Este es el valor pico (mayor) neto calculado del torque (miles de pulgadas-libras) en la embolada ascendente.
- ➡ Torque API (Desc).- Este es el valor pico (mayor) neto calculado del torque (miles de pulgadas-libras) en la embolada descendente. Es el torque neto ya que es la diferencia entre el torque causado por el peso de las cabillas y el fluido y el torque causado por el peso de las manivelas y los contrapesos (o el efecto del cilindro de balance de aire).
- ➡ API c/CBT Óptimo.- Esto representa el torque pico si tanto la embolada ascendente como descendente la unidad de bombeo estuviesen perfecta o idealmente balanceados (en miles de pulgadas-libras).
- ➡ Torque CB Exist (1000).- Este torque actual o existente de contrabalanceo, basado en las manivelas y contrapesos actuales (miles de pulgaldas – libras). Esto es lo mismo que la carga pico de la varilla pulida.

- %Nominal.- LOWIS™ muestra la carga pico o máxima de la varilla pulida o balancín (porcentaje de la clasificación del balancín).
- Temp LF.- Esta es la temperatura ("°F") actual o existente en el cabezal del tubing o línea de flujo ingresada por el usuario.
- Pres Tbg.- Es la presión actual o existente en el cabezal del tubing (Psig) y que la unidad de bombeo debe vencer para producir el pozo. LOWIS™ usa esta presión para calcular la carga de fluido y la longitud neta de la embolada de líquido.
- Pres Csg.- Este valor es ingresado por el usuario y es la presión actual existente en el cabezal del casing (Psig).
- FAP.- Es el nivel de fluido actual o existente en la corona del casing/tubing (pies medidos sobre el niple de asiento) y es ingresado por el usuario.
- PIP.- El valor de Presión de Succión de la Bomba (Psig) ó PIP es calculado por LOWIS™ a partir del FAP ingresado por el usuario.
- Data de Sarta de varillas.- Se tiene tres columnas:
 - Permitir. Esta columna contiene el límite de tensión modificado para cada sarta (Psi).
 - Real.- Muestra la tensión modificada en la cabilla superior de cada sarta (Psi).
 - %Al.- Esta es la tensión modificada Real dividida por el límite de tensión modificado para cada sarta de cabillas.
- Data de Bomba de Fondo de Pozo.- Se tiene los siguientes parámetros: Superficie (Embolada), Fondo de Pozo (Embolada), Fluido Total (Embolada), % Llenado, Desplazamiento superficie, Desplazamiento de fondo de pozo, Desplazamiento fluido total, Eficiencia volumen de superficie, N/No, (Relación de la velocidad real de la bomba respecto a la frecuencia natural de la sarta de cabillas).
- Fo/Skr. La relación Fo/Skr es llamada la "relación adimensional de carga de fluido".
- HP Cabilla Pulida. El (HP) de la cabilla pulida es el área de la carta de bombeo de superficie (en caballos de fuerza, más que en pulgadas-libras-segundos).
- Data de Energía.- Se tiene los siguientes parámetros:
 - Costo Est – Anual (24.0). Este es el costo eléctrico anual estimado de operar el pozo actualmente seleccionado, si fuese bombeado 24 horas al día. El valor es calculado por LOWIS™ a partir de los "kW" promedio por hora y el costo por KW-Hr.
 - Costo Est – Anual (NN.N). Este es el costo eléctrico estimado anual de operar el pozo actualmente seleccionado, basado en el número de horas que el pozo bombea cada día. El valor es calculado a partir de los "kW" promedio por hora y el costo por KW-Hr".³⁷

³⁷ Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.

CAPITULO IV

4. ANALISIS Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL EN POZOS SELECCIONADOS

4.4. ANTECEDENTES DEL POZO YULEBRA 08

4.4.1. Ubicación

El pozo Yulebra 08 se encuentra ubicado en el campo en el campo Yuca, ubicado en la provincia de Orellana al norte de la Cuenca Oriente. De coordenadas geográficas:

Latitud: 0° 28' 59,920" S

Longitud: 76° 52' 31,560" W

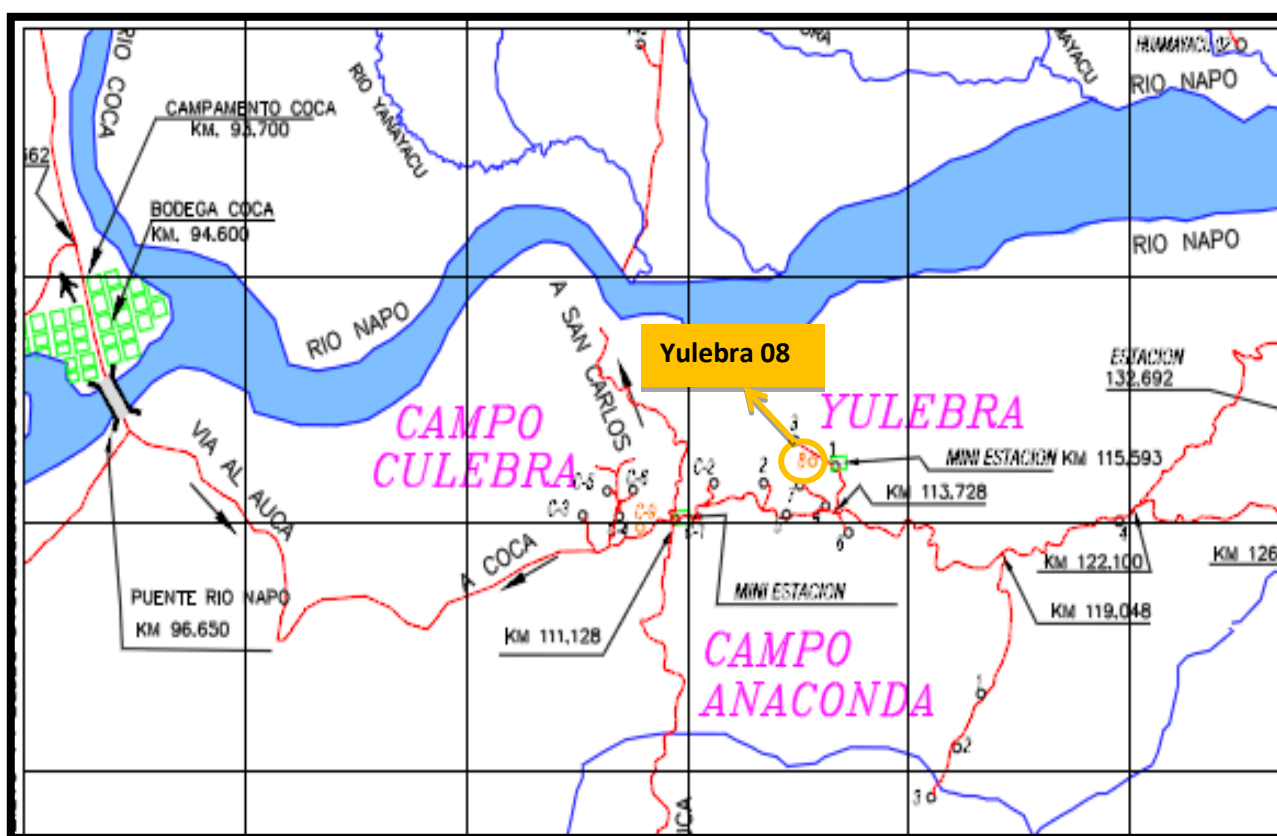



Figura N° 65.- Mapa de ubicación del pozo Yulebra 08

Fuente: Petroamazonas EP- Campo Auca



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR

PETROPRODUCCION

DPTO: ING. CIVIL

CUADRO DE COORDENADAS G.P.S. DEL CAMPO YULEBRA (PSAD-56)

POZOS #	GEOGRAFICAS						UTM .		COTAS	COTAS	EM.R.	EM.R.		
	LATITUD			LONGITUD			NORTE	ESTE	Tres Hilos	SUELO	(metros)	(pies)		
Yulebra 8D(sale del 2)	0°	28'	59,920"	S	76°	52'	31,560"	W	9.946.550,087	291.272,995	258,019	257,776	262,673	861,778

Tabla N° 08.- Coordenadas del pozo Yulebra 08

Fuente: Petroamazonas EP- Campo Auca

4.4.2. Historial de Reacondicionamiento del Pozo Yulebra 08

“COMPLETACION Y PRUEBAS INICIALES.

Fecha de Completación: 22-ABRIL DE 2010

Perforaciones Iniciales:

ARENA “U”: 10140’ - 10160’ (20”) 5 DPP.

FECHA	YACIMIENTO	BFPD	% BSW	BPPD	API 60°F	GOR	Salinidad ppm	MÉTODO
02-FEB-2010	" U "	312	38	193	18		2100	PPH

ARENA “Hs” : 10551’ - 10569’ (18’) 5 DPP.

➤ Suspenden CPI y evalúan arena “U” y “Hs” sin torre obteniendo bajo aporte de las dos arenas.

REINICIAN CPI Y PUNZONAN. ARENA “BT” :

9348’ - 9353’ (5’) 5 DPP.

9366’ - 9372’ (6’) 5 DPP.

FECHA	YACIMIENTO	BFPD	% BSW	BPPD	API 60°F	GOR	Salinidad ppm	MÉTODO
15-ABR-2010	" BT "	312	63	115	28			PPH

- Completan pozo con válvula de cierre de fondo y equipo BES D725n.

(W.O.N°01)(22-Julio-2010): Reparar BES.

- Sacan equipo BES D725n en tubería de 3-1/2" Sec tn-70: equipo bes con presencia de solidos en Housing, bomba superior sin giro, con presencia de solidos en su interior.
- Bomba inferior con giro Semiduro, separador de gas y protector con giro suave.
- Motor con giro suave y eléctricamente fases a tierra y desbalanceado.
- Cable eléctricamente en buen estado.
- Los sólidos son: 52% hidrocarburos, 35% arcillas y silicatos (cemento) y 13% de material insoluble.
- Bajan equipo BES D725n en tubería de 3-1/2" Sec, clase "B" midiendo, calibrando y probando con 3000 psi cada 20 paradas hasta 9088'.
- Realizan empates de cable n°2 con capilar a 4848'.
- Se utilizan 290 protectores Cannon y 292 Mid Joints.

REALIZAN PRUEBA DE PRODUCCIÓN DE ARENA "Ui" A LA ESTACIÓN:

BFPD=504	Amp.=421	P Intake= 1374	Frec.= 47 Hz
BSW=100%	Vol.=1859	P Cabeza= 40psi	THE= 6

- Finalizan operaciones el 23 de julio del 2010 a las 10h00.”³⁸

4.4.3. Diagrama de Completación del pozo Yulebra 08

³⁸ Trabajo conforme a Contrato realizado entre EP PETRECUADOR y PARLADISERVICES SA, el cual el cual consta en el Programa de Actividades de Reacondicionamiento 2012.

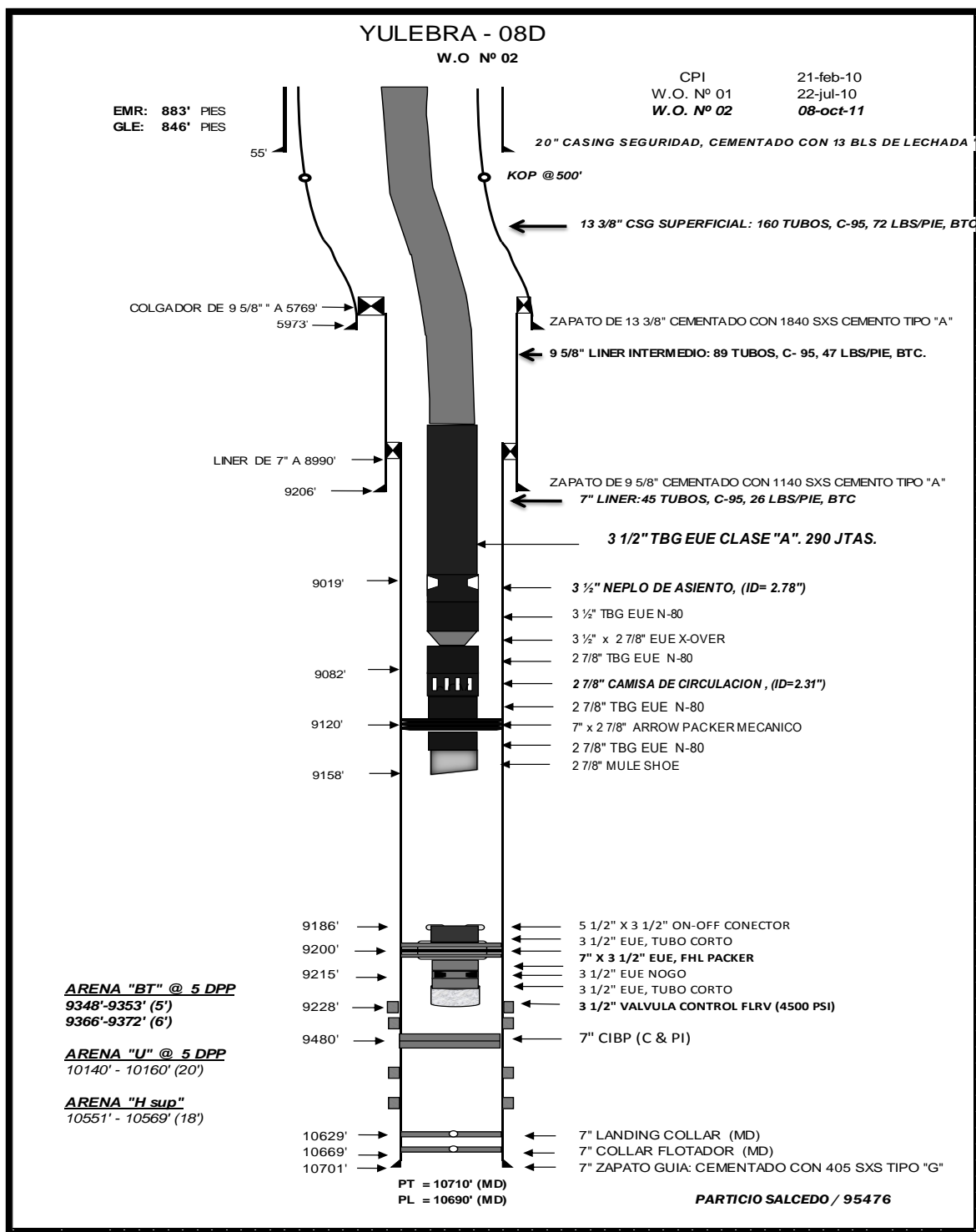


Figura Nº 66.- Diagrama Side Track del pozo Yulebra 08

Fuente: Petroamazonas EP- Campo Auca

4.4.4. Diagrama de Instalación del pozo Yulebra 08

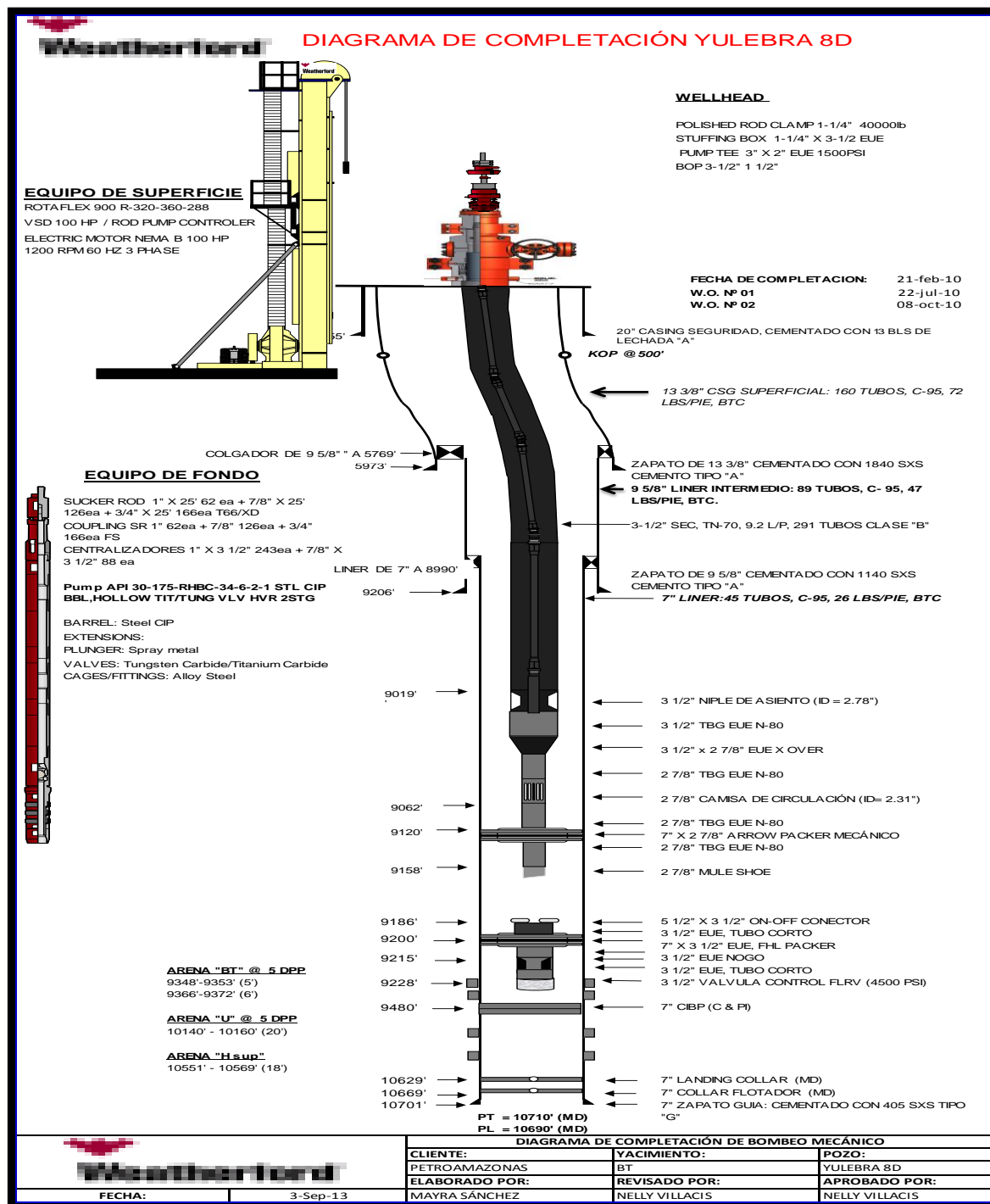


Figura N° 67.- Diagrama de Instalación de la Unidad Rotaflux 900 en el pozo Yulebra 08
 Fuente: Weatherford, LA. – Artificial Lift System – Production Optimization.

4.4.5. Historial de Producción del pozo Yulebra 08

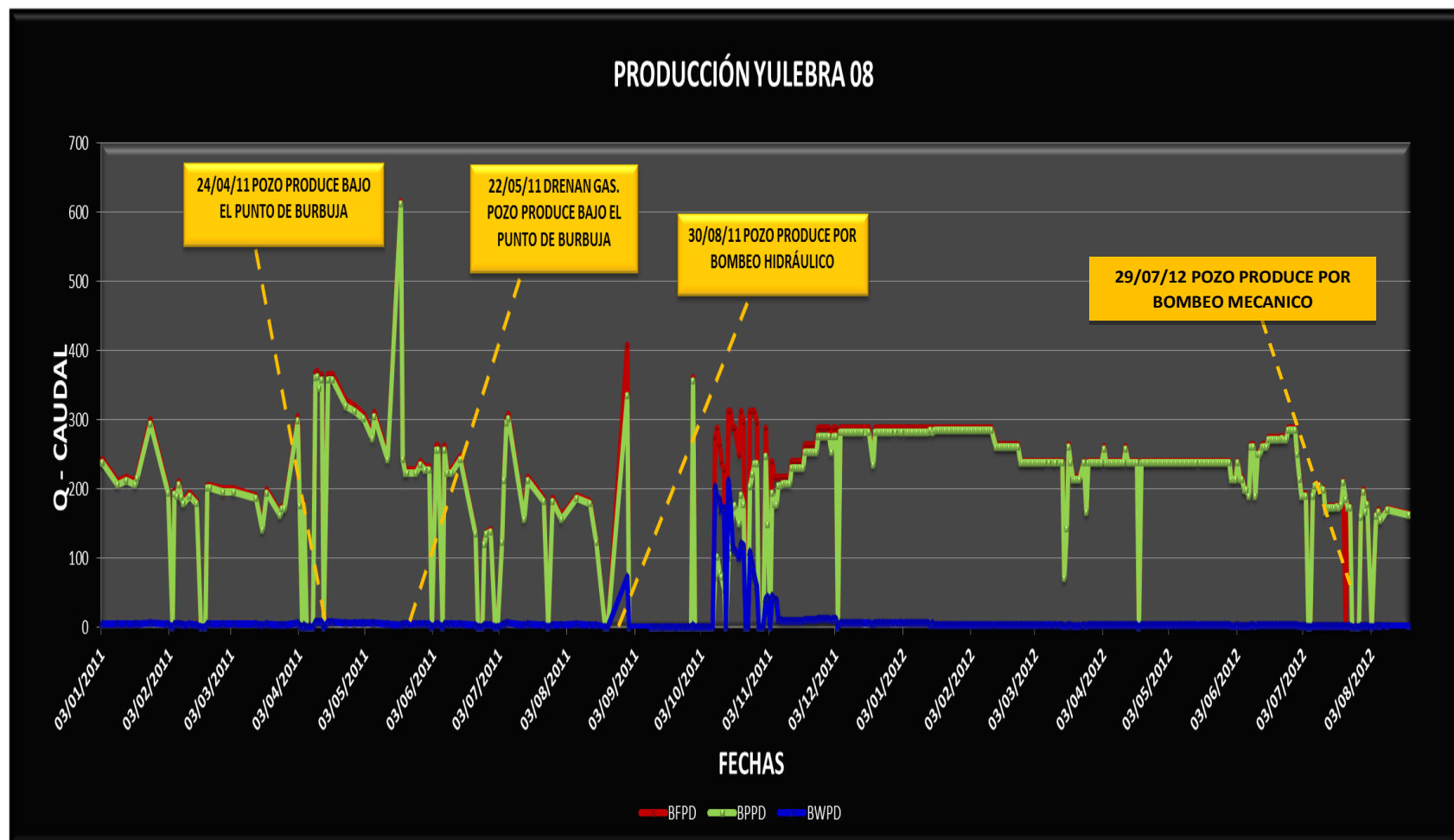


Gráfico N° 14.- Historial de Producción del pozo Yulebra 08

Fuente: Petroamazonas EP- Campo Auca

CAPITULO V

5. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO MECANICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.

Con el propósito de automatizar y optimizar los sistemas de Bombeo Mecánico en el Ecuador y aplicando los beneficios que nos ofrece la herramienta LOWIS™Beam de monitoreo en tiempo real mediante alarmas; que nos permitirá actuar rápidamente ante problemas presentados, evitando pérdidas de producción, que influirían negativamente en el desempeño productivo de los pozos que se encuentran produciendo con Unidades Convencionales y Nuevas Tecnologías como las unidades Rotaflex y las Unidades VSH2 instaladas actualmente en el oriente ecuatoriano.

Por lo que se ha escogido el pozo Yulebra 08 candidato a ser conectados a LOWIS™Beam para realizar un análisis técnico y determinar cómo podemos optimizar de la producción en estos pozos.

5.1. OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LOS POZO SHUARA 09, CULEBRA 07, YULEBRA 03, YULEBRA 08 APLICANDO EL PROGRAMA LOWIS™BEAM.

Los pozos Yulebra 08 ha sido seleccionado para el estudio de optimización de la producción debido a que cuentan con las facilidades y los parámetros de comunicación necesarios para acceder a la data en fondo y superficie.

Los pozos antes mencionados pertenecientes a la empresa Petroamazonas actualmente se encuentran en un proceso de licitación con la empresa Weatherford.LA. Para la venta de licencias del Software de Optimización de la Producción LOWIS™Beam aplicados en sistemas con Bombeo Mecánico con la finalidad de buscar mejoras, utilizando alarmas y supervisiones continuas en tiempo real que nos permitirán mostrar cómo se desarrolla el pozo durante su producción.

5.1.1. Configuración del pozo Yulebra 08 con LOWIS™ BEAM.

5.1.1.1. Información en Fondo y Superficie.

La Información que se ha recolectado para ser cargada en LOWIS™ BEAM corresponde a la Data recogida de los sensores de fondo y superficie de los controladores Well Pilot instalados en los pozos seleccionados para el estudio.

Además se ha recogido información de los datos provenientes del Programa TWM Echometer, en donde se realizaron las diferentes Tomas de Niveles y se presentaron las Cartas Dinamo métricas, de los pozos Yulebra 08.

También se recolectó información actualizada de los Reportes de Servicio e Instalación y de los Estados Mecánicos proporcionada por el departamento de Levantamiento Artificial de la empresa Weatherford en cada uno de los pozos que están presentados en éste proyecto.

Como el programa LOWIS™ BEAM nos presenta un sinnúmero de beneficios y facilidades para realizar el análisis Workbench, el historial de la Data que se almacena en los Well Pilot puede ser utilizada para realizar un Análisis Workbench, incluso cuando los pozos no se encuentren conectados al programa en tiempo real.

Con toda esta información y mediante el Análisis Workbench que se realizará a los 4 pozos seleccionados se busca mejorar la optimización de la producción en éstos pozos de bombeo mecánico que se encuentran en proceso de ser conectados en tiempo real a LOWIS™ BEAM.

La Data recolectada en fondo y superficie de los pozos seleccionados ha sido clasificada y organizada en las tablas N°09, N°10, N°11, N°12, N°13, N°14, N°15, N°16, N°17 y N°18 presentadas a continuación:

5.1.1.1.1. Información de los pozos Seleccionados

En la siguiente tabla se encuentra recopilada toda la información del pozo como los datos del campo y los datos de la unidad de superficie.



WELL INFORMATION LOWIS™ BEAM							
Campo	Área	Nombre Largo	Pozo	API 14	Unidad	Compañía	Arena Productora
Activo	Facilidad						
AUCA	Culebra	CULEBRA 07D	CLBA_007R1UI	ECCLB6000701UI	Unidad Rotaflex 900	WFT	UI
AUCA	Yulebra	YULEBRA 03	YLBD-003BT	ECYLB6000500BT	Convencional Maximizer I	WFT	BT
AUCA	Yulebra	YULEBRA 08	YLBA-008BT	ECYLB6001000BT	Unidad Rotaflex 900	WFT	BT
LIBERTADOR	Shuara	SHUARA 09	SHA_009BT	ECSHA6001000BT	Unidad Rotaflex 901	WFT	BT

Tabla N° 09.- Parámetros de Fondo de Pozo de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

5.1.1.1.2. Parámetros de Fondo de Pozo

En la siguiente tabla se presentan todos los parámetros del fondo de pozo como las profundidades, parámetros de casing y tubing y los parámetros de la bomba de fondo.



DOWNHOLE PARAMETERS LOWIS™ BEAM												
Depths						Casing/Tubing				Downhole pump		
Top perforation	Bottom perforation	Tubing Anchor depth	Plug-back TD	Pump Measured	Pump Vertical	Casing Valve Open? (Yes/No)	Casing OD	Production Casing Weight	Tubing OD	Description Pump API	Pump ID	Fit
feet	feet	feet	feet	feet	feet		inch	lbs/ft	inch		inch	
10064	10108	9948	10448	9000	8633	yes	5	18	3 1/2	30-175-RHBC-34-6-2-1	1 3/4	0,003
8812	8822	8641	9750	8544	8544	yes	7	26	3 1/2	30-175-RHBC-20-5-1	1 3/4	0,003
9348	9372	9120	9480	9019	8523	yes	7	26	3 1/2	30-175-RHBC-34-6-2-1	1 3/4	0,003
8392	8420	8137	9040	8296	8296	yes	7	26	3 1/2	30-175-RHBC-34-6-2-1	1 3/4	0,003

Tabla N° 10.- Parámetros de Fondo de Pozo de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

5.1.1.1.3. Datos de la Unidad de Bombeo

En las siguientes tablas se tienen los Datos de la Unidad de Bombeo en Superficie.



PUMPING UNIT DATA (API) LOWIS™ BEAM										
Pozo	SURFACE PUMPING UNIT									
	Pumping Unit (API)	Pumping Unit Serial Number	Pumping Unit Order Number	Wrist Pin Location # (Stroke Length)	Actual (Measure) Stroke Length	Rotation (Clockwise/Counterclockwise w/wellhead to the right)	Torque Calculation Method	Motor Type (Usually Nema D)	Slip Torque (If 'High Slip')	Crank ID (from crank itself)
				inch	inch		?			
CULEBRA 07D	R320 - 360 - 288	XXXX	XXXX	NONE	288	NONE	Jenning	NEMA B/100HP	3	NONE
YULEBRA 03	C912 - 365 - 168	XXXX	XXXX	2,00	141,154	CLOCKWISE	Jenning	NEMA B/125HP	3	KB 117-53
YULEBRA 08	R320 - 360 - 288	XXXX	XXXX	NONE	288	NONE	Jenning	NEMA B/100HP	3	NONE
SHUARA 09	R320 - 360 - 288	12 952	XXXX	NONE		NONE	Jenning	NEMA B/75HP	3	NONE

Tabla N° 11.- Información de las Unidades de Bombeo en superficie de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09
Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping
Realizado por: Melina Estrada B.

PUMPING UNIT DATA (API) LOWIS™ BEAM														
Pozo	Crank 1						Crank 2						Air Balance Pressure	
	Lead Primary Weight ID	Lead Auxiliary Weight ID	Lead distance	Lead Primary Weight ID	Lead Auxiliary Weight ID	Lag distance	Lead Primary Weight ID	Lead Auxiliary Weight ID	Lead distance	Lead Primary Weight ID	Lead Auxiliary Weight ID	Lag distance	Maximum Cylinder Pressure	Minimum Cylinder Pressure
			inch			inch			inch			inch	Psi	Psi
CULEBRA 07D	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	xxx	xxx
YULEBRA 03	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	xxx	xxx
YULEBRA 08	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	xxx	xxx
SHUARA 09	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	NONE	NONE	0,00	xxx	xxx

Tabla N° 12.- Información de las Unidades de Bombeo en superficie de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

5.1.1.1.4. Designación de las Varillas

En las siguientes tablas se presentan todas las designaciones de las sarts de las varillas.



ROD TAPER DESIGN LOWIS™ BEAM										
Pozo	Rod Configuration (One entry per rod type)									
	Taper Number	Rod Description Grade / Size	Number of Rods (Taper)	Rod Length	Service Factor	Degrees Deviation	Drag Coeficient	Up Stroke Damping	Down Stroke Damping	Guides / Used ? (Yes/No)
				Feet						
CULEBRA 07D	1"	WFT-T66/XD	84	25	0,9	32.09°	0,22	calculado	calculado	x
YULEBRA 03	7/8"	WFT-T66/XD	1	4'	0,9	0°	0	calculado	calculado	x
YULEBRA 08	1"	WFT-T66/XD	62	25	0,9	23.98° @ 6381	0,22	calculado	calculado	x
SHUARA 09	1"	WFT T66/XD	116	25	0,9	0°	0	calculado	calculado	x

Tabla N° 13.- Información de las Varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.



Weatherford® LOWIS™ BEAM

ROD TAPER DESIGN LOWIS™ BEAM										
Pozo	Rod Configuration (One entry per rod type)									
	Taper Number	Rod Description Grade / Size	Number of Rods (Taper)	Rod Length	Service Factor	Degrees Deviation	Drag Coeficien t	Up Stroke Damping	Down Stroke Damping	Guides / Used ? (Yes/No)
				Feet						
CULEBRA 07D	7/8"	WFT-T66/XD	108	25	0,9	32,09°	0,22	0,07	0,07	xx
YULEBRA 03	7/8"	WFT-T66/XD	148	25	0,9	0°	0	0,06771	0,06771	xx
YULEBRA 08	7/8"	WFT-T66/XD	126	25	0,9	23.98° @ 6381	0,22	0,1	0,070095	xx
SHUARA 09	7/8"	WFT T66/XD	116	25	0,9	0°	0	calculado	calculado	xx

Tabla N° 14.- Información de las Varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.



Weatherford® LOWIS™ BEAM

ROD TAPER DESIGN LOWIS™ BEAM										
Pozo	Rod Configuration (One entry per rod type)									
	Taper Number	Rod Description Grade / Size	Number of Rods (Taper)	Rod Length	Service Factor	Degrees Deviation	Drag Coeficient	Up Stroke Damping	Down Stroke Damping	Guides / Used ? (Yes/No)
				Feet						
CULEBRA 07D	3/4"	WFT-T66/XD	168	25	0,9	32,09°	0,22	0,07	0,07	xx
YULEBRA 03	3/4"	WFT-T66/XD	190	25	0,9	0°	0	0,06771	0,06771	xx
YULEBRA 08	3/4"	WFT-T66/XD	166	25	0,9	23.98° @ 6381	0,22	0,1	0,070095	xx
SHUARA 09	3/4"	WFT T66/XD	96	25	0,9	0°	0,00	calculado	calculado	xx

Tabla N° 15.- Información de las Varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.



Weatherford® LOWIS™ BEAM

ROD TAPER DESIGN LOWIS™ BEAM										
Pozo	Rod Configuration (One entry per rod type)									
	Taper Number	Rod Description Grade / Size	Number of Rods (Taper)	Rod Length	Service Factor	Degrees Deviation	Drag Coefficient	Up Stroke Damping	Down Stroke Damping	Guides / Used ? (Yes/No)
				Feet		°				
CULEBRA 07D	BP - 1 1/2"	WFT-T66/XD	1	36	0,9	32,09°	0,22	0,07	0,07	xx
YULEBRA 03	7/8"	WFT-T66/XD	1	2'	0,9	0°	0	0,06771	0,06771	xx
YULEBRA 08	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	calculado	calculado	xx
SHUARA 09	1"	WFT-T66/XD	1	2' - 8' - 4'	0,9	0°	0	calculado	calculado	xx

Tabla N° 16.- Información de las Varillas de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

5.1.1.1.5. Parámetros de los Fluidos

En la siguiente tabla se encuentran los datos correspondientes a los fluidos.



FLUID DATA LOWIS™ BEAM																
Pozo	Basic Well Data															
	Oil Rate	Water Rate	BSW	Gas Rate	Well Test Date	API Oil Gravity	Water Gravity	Gas Gravity	Observed Tubing Pressure	Tubing Gradient	Well Head Temperature (Best Estimate)	Observed Casing Pressure	Oil Cut	Last Fluid Level from Surface	Last Fluid Above Pump	Fluid Shot Date
	Bbl/d	Bbl/d	%	MSCF/d	mm/dd/yyyy	°API	Gravity	Gravity	Deg F	psi/ft	Deg F	Psi	%	feet	feet	mm/dd/yyyy
CULEBRA 07D	158,76	3,24	2	23,21	09/23/13	16	1,05	0,79	30	0,00	90	30	1,0	7001	1999	06/15/2013
YULEBRA 03	187,02	6,98	3,6	34,22	09/21/13	20,8	1,05	0,84	45	0,00	90	45	1,0	7122	1422	10/02/2013
YULEBRA 08	131,67	1,33	1	17,56	09/21/13	19,7	1,05	1,08	115	0,00	90	115	1,0	7430	1789	05/24/2013
SHUARA 09	142,56	1,44	1	7	09/25/13	21,6	1		30	0,00	90	30	1,0			


Tabla N° 17.- Información de los Parámetros de los Fluidos de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

5.1.1.1.6. Parámetros de Comunicación

En la siguiente tabla se presentan los parámetros de comunicación de los controladores Well Pilots.


Weatherford® LOWIS™ BEAM

COMMUNICATION PARAMETERS LOWIS™ BEAM				
Pozo	Communication Parameters			
	IP Address (IP/Serial converter)	Serial Port Address (IP/Serial Converter)	RTU/RPC Address	Controller Type (WellPilot, SAM RPC, etc.)
CULEBRA 07D	xxx.xxx.xx.xx	xxxx	xx	Well Pilot 100HP
YULEBRA 03	xxx.xxx.xx.xx	xxxx	xx	Well Pilot 125HP
YULEBRA 08	xxx.xxx.xx.xx	xxxx	xx	Well Pilot 100HP
SHUARA 09	xxx.xxx.xx.xx	xxxx	xx	Well Pilot

Tabla N° 18.- Información de los Parámetros de Comunicación de los pozos Culebra 07, Yulebra 03, Yulebra 08 y Shuara 09

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

5.1.1.2. Añadir un pozo de Bombeo Mecánico

Con la información recolectada en fondo y en superficie se puede proceder a configurar los pozos que se han seleccionado.

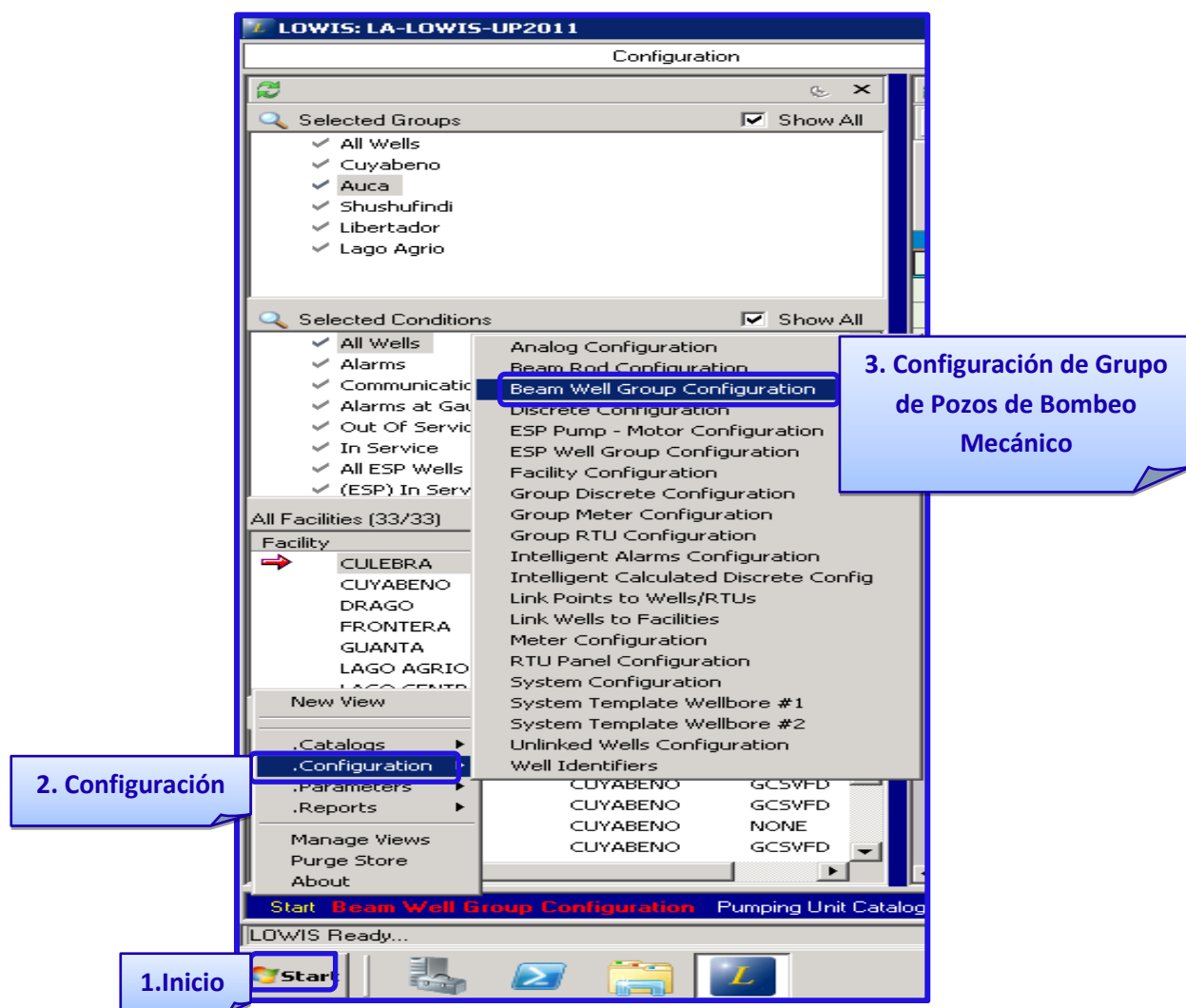


Figura N° 68. Ventana desplegada para añadir un pozo y empezar a configurar en LOWIS, aplicado al pozo Yulebra 08

*Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ - Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

- Hacer click en Inicio
- Seleccionar la ventana de Configuración.
- Seleccionar la ventana de Configuración de Pozos de Bombeo Mecánico.

5.1.1.2.1. Información general del pozo.

The screenshot shows a software window titled "Add a New Beam Well". Inside, there is a section titled "General Well Info" containing several input fields. A blue callout box with a bracket points to the "Name" field, containing the text "INFORMACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL POZO".

General Well Info	
Name	YUL_008BT
Navigator Name	
CAO ID	YUL_008BT
Long Name	YULEBRA_008BT
Internal ID	B00496
Group 1	
Group 2	
Group 3	
Group 4	
FacilityDescription	YULEBRA

Figura N° 69. Ventana desplegada para configurar la Información General de Pozo, aplicado al pozo Yulebra 08

*Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ - Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

Ingresar datos de:

- Nombre general del pozo
- Nombre largo
- CAO ID del pozo (con el que se identifica en el sistema)
- Facilidades y descripción.

5.1.1.2.2. Parámetros de Comunicación

Add a New Beam Well

Communication Parameters

Name	YUL_008BT
RodPump Controller	EPIC RPC
Controller Type	EPICRP
Controller Sub-Type	WellPilot RPOC
Comm Port	COM1
Communication Protocol	BAKER
Communication Address	0
Alternate Address (IP/OPC/Phone)	
Comm Retries	0
Key On Delay	0
Key Off Delay	0
Alarm Delay	0
Clear Delay	0

INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS DE COMUNICACIÓN

Figura N° 70. Ventana desplegada para configurar los Parámetros de Comunicación, aplicado al pozo Yulebra 08

*Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ – Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

Ingresar Datos de:

- Dirección IP (convertidor de IP / serie)
- Dirección del portal de la serie (convertidor IP/serie)
- Dirección RTU/RPC
- Tipo de controlador (Well Pilot, SAM RPC, etc.)

5.1.1.2.3. Información de fondo de pozo

Downhole Information		
Name	YUL_008BT	
Controller Sub-Type	WellPilot RPOC	
Top Perforation	9348.00	feet
Bottom Perforation	9372.00	feet
Anchor Depth	9120.00	feet
Plug-Back TD	9480.00	feet
Pump Measured	9019.00	feet
Pump Vertical	8523.00	feet
Pump ID	1.75	inch
Casing Valve Open?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No	
Casing OD	7.000	inch
Casing Weight	26.00	lbs/ft
Tubing OD	3.500	inch

Figura N° 71. Ventana desplegada para configurar la Información de Fondo de Pozo, aplicado al pozo Yulebra 08

*Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ - Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

Ingresar datos de:

- Perforación Superior (pies)
- Perforación de Fondo (pies)
- Ancla (pies)
- Profundidad Total Plug-Back (pies)
- Medida en Bomba (pies)
- Vertical de la Bomba (pies)
- * ID de la bomba (pulg)
- * Válvula casing abierta
- * OD casing (pulg)
- * Peso del casing (lbs/pie)
- * OD tubing (pulg.)

5.1.1.2.4. Propiedades de los Fluidos

Fluid Properties		
Name	YUL_008BT	
Controller Sub-Type	WellPilot RPOC	
Oil	131.67	stb/d
Water	1.33	stb/d
Gas	7.00	mscf/d
Last Well Test Date	9/21/2013 12:00:00 AM	
Oil Gravity	19.70	API
Water Sp Grav	1.05	sg
Gas Sp Grav	1.08	sg
Tubing Pressure	115.00	PSI
Tubing Gradient	0.00	psi/ft
Tubing Temperature (Wellhead)	90	DegF
Casing Pressure	115.00	PSI
Casing Oil Cut	1.00	
Fluid Level from Surface	7517.39	feet
Fluid Above Pump	1501.61	feet
Fluid Level Shot Date	5/24/2013 12:00:00 AM	
Fluid Level Comment		
Use Fluid Inertia for Analysis?	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No	

Figura N° 72. Ventana Desplegada para Configurar las Propiedades del fluido, aplicado al pozo Yulebra 08

*Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ - Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

Ingresar datos de:

- Q oil: Caudal del petróleo (B/D)
- Q agua: Caudal del agua (B/D)
- Q gas: Caudal del gas (MCF)
- Fecha de la última prueba de pozo
- Gravedad del petróleo (API)
- Gravedad específica del agua
- Gravedad específica del gas
- Presión del tubing
- Gradiente de presión del tubing
- Temperatura del tubing en la cabeza de pozo (psig)
- Presión del Casing
- Corte de petróleo en el casing

- Nivel de líquido en superficie
- Fluido por encima de la bomba
- Fecha de disparo del nivel de fluido
- Comentario para el nivel de líquido
- Utilizar la inercia del fluido para el análisis.

5.1.1.2.5. Información de la Unidad de Bombeo

The screenshot shows a software window titled "Add a New Beam Well". Inside, there is a section titled "Pumping Unit and Motor Info" with the following fields:

Name	YUL_008BT
Controller Sub-Type	WellPilot RPOC
Unit Type	Other Units
Pumping Unit	HG C-114-143-74
Wrist Pin	1
Actual Stroke	288.00 inch
Torque Method	API
Rotation	CW
Motor Type	N
Motor Size	100.00
Slip Torque	1.00
Measured Motor Amps Up	0.00
Measured Motor Amps Down	0.00
Max Air Balance Pressure	0.00 PSI
Min Air Balance Pressure	0.00 PSI

A blue callout box with the text "INFORMACIÓN DE UNIDAD DE BOMBEO Y MOTOR" is positioned to the right of the "Actual Stroke" field, with a bracket pointing to it.

Figura N° 73. Ventana desplegada para configurar la Información de la Unidad de Bombeo y del Motor, aplicado al pozo Yulebra 08

*Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ - Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
Realizado por: Melina Estrada B.*

Ingresar datos de:

- Nombre
- Tipo de unidad
- Tipo de bomba
- Wrist Pin
- Carrera actual
- Método de torque
- Rotación

- Tipo de motor
- Tamaño del motor
- Torque de deslizamiento
- Medida de los amperios a la altura
- Medida de los amperios abajo
- Máx. presión de balance de aire (PSI)
- Mín. presión de balance de aire (PSI)

5.1.1.2.6. Torque de Manivela, Contrapeso y Contrabalanceo

Crank, Weight, and Counter Balance Torque		
Name	YUL_008BT	
Controller Sub-Type	WellPilot RPOC	
Crank ID	KB-117-53	
CBT	0.00	Minchlbs
C1 Lead Distance	0.00	inch
C1 Lead Primary Wt	NONE	
C1 Lead Aux Wt	NONE	
C1 Lag Distance	0.00	inch
C1 Lag Primary Wt	NONE	
C1 Lag Aux Wt	NONE	
C2 Lead Distance	0.00	inch
C2 Lead Primary Wt	NONE	
C2 Lead Aux Wt	NONE	
C2 Lag Distance	0.00	inch
C2 Lag Primary Wt	NONE	
C2 Lag Aux Wt	NONE	

INFORMACIÓN MEDIDA DE LOS TORQUES Y CONTRAPESOS EN CASO DE SER UNIDADES CONVENCIONALES

Figura N° 74. Ventana desplegada para configurar los parámetros de Torque, Contrapeso y Contrabalanceo de las Contrapesas de la Unidad en superficie, aplicado al pozo Yulebra 08
 Fuente: Weatherford.LA. Software LOWIS™ - Configuración de pozos con Bombeo Mecánico.
 Realizado por: Melina Estrada B.

Ingresar datos de:

- ID identificación del Crank de los Contrapesos
- CBT contrabalanceo Total (1000 in-lb)
- Distancia de retardo
- Peso del contrapeso auxiliar.

5.2. ANÁLISIS WORKBENCH DEL POZO YULEBRA 08 CON LOWIS™ BEAM.

Para empezar el análisis Workbench en Bombeo Mecánico es necesario tener la información proveniente de las cartas de superficie y de fondo del pozo que se analizará. En éste caso se ha utilizado la Data recolectada de lo controlador Well Pilots del pozo Yulebra 08.

Además se ha tomado como referencia las Cartas Dinamométricas del programa TWM Echometer que sirve para la toma de niveles y gráfica de Cartas Dinamométricas del pozo que hemos seleccionado.

5.2.1. Análisis Workbench del pozo Yulebra 08 por el método Everitt Jennings.

Se ha tomado como ejemplo el pozo Yulebra 08 para mostrar el procedimiento del análisis de un pozo de Bombeo Mecánico en LOWIS utilizando el método de Everitt Jennings considerado el método más exacto para el cálculo de cartas Dinamométricas de fondo.

PROCEDIMIENTO DEL PROGRAMA LOWIS

1. Seleccionar el pozo Yulebra 08 y hacer click en la pestaña Analizar para ingresar a la ventana de Análisis.

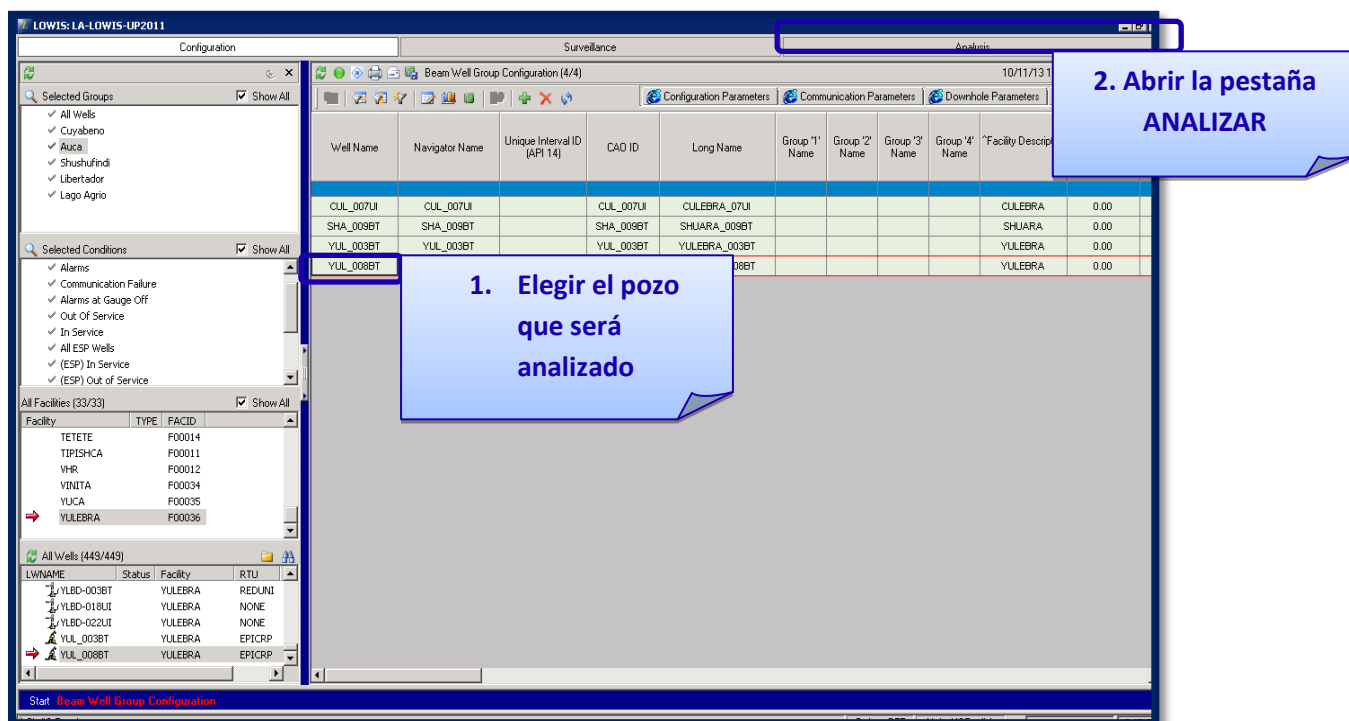


Figura N° 75. Ventana desplegada para seleccionar el pozo Yulebra 08 para realizar el Análisis Workbench en LOWIS™

Fuente: Software LOWIS Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

2. Cargar una carta Dinamométrica de superficie tomada de la Data de los controladores Well Pilot para analizarla en LOWIS.

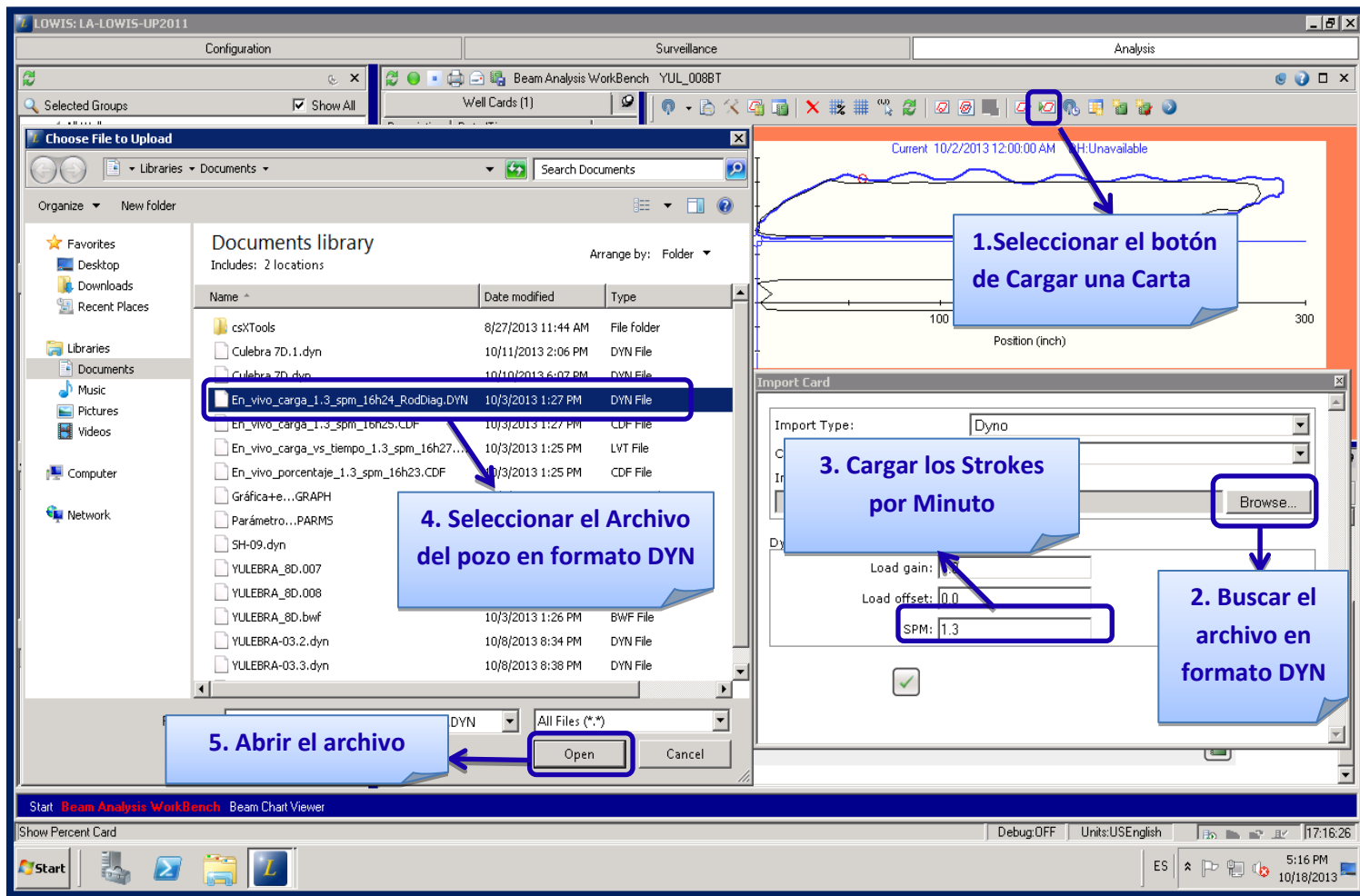


Figura N° 76. Ventana desplegada para cargar una carta Dinamométrica del pozo Yulebra 08 en LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford, LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

- Una vez cargada la Carta Dinamométrica éste archivo aparecerá en la pantalla. Luego seleccionar la opción **Análisis** seguido de la opción **Análisis Workbench** para que la Carta salga graficada en la pantalla.

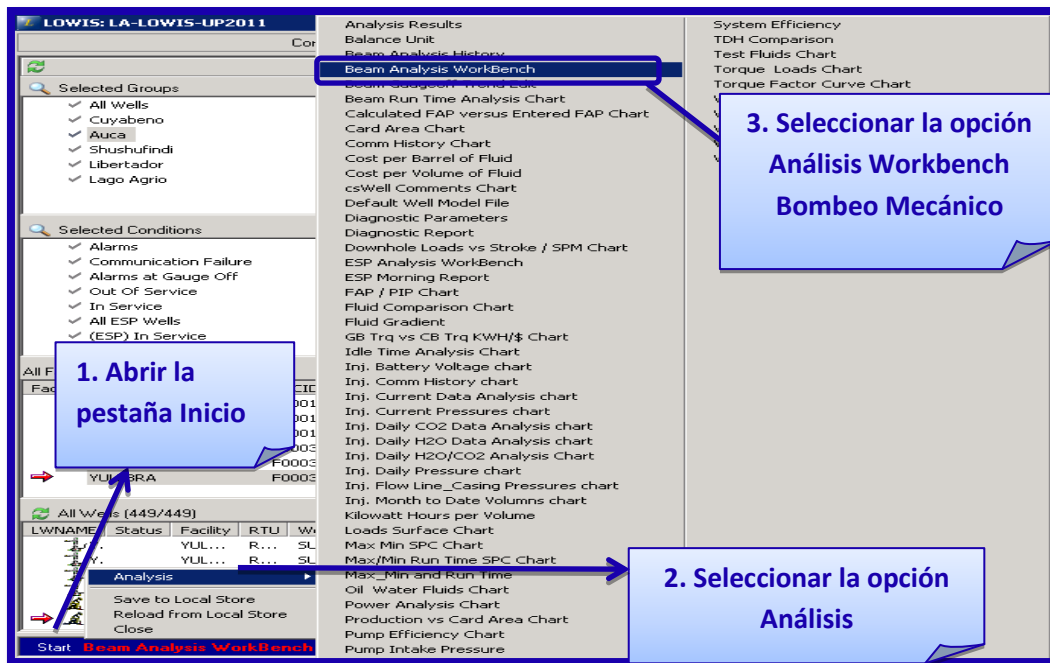


Figura N° 77.- Ventana desplegada para realizar el Análisis Workbench en LOWIS™ aplicado al pozo Yulebra 08

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

- Una vez que aparece la Carta Seleccionarla y Hacer click en **Análisis Workbench**, para graficar la carta de fondo.

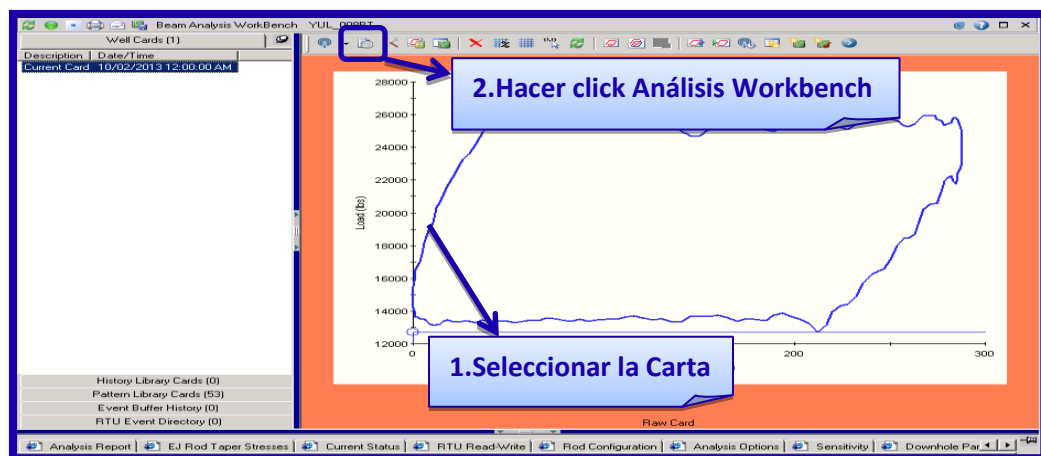


Figura N° 78.- Ventana desplegada para las cartas de calibración en LOWIS™ aplicado al pozo Yulebra 08

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

- Seguidamente LOWIS nos despliega las Cartas de Superficie y de Fondo junto con un Minireporte en donde podemos observar algunos parámetros del pozo.

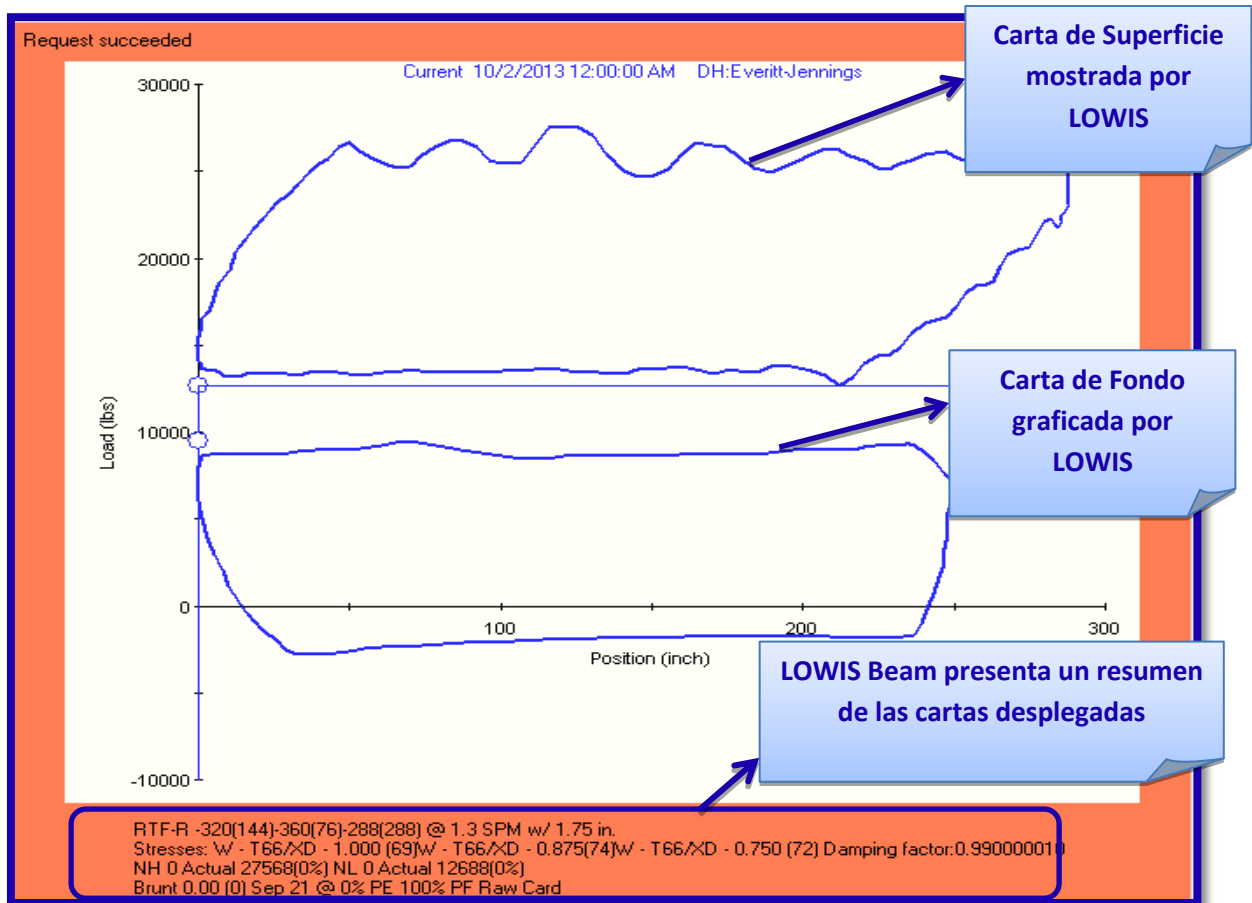


Figura N° 79.- Ventana desplegada con los Diagramas de superficie y de fondo en LOWIS™ aplicado para el pozo Yulebra 08

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford, LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

En el Minireporte se tienen parámetros como los Strokes por Minuto y el Factor de arrastre de las varillas.

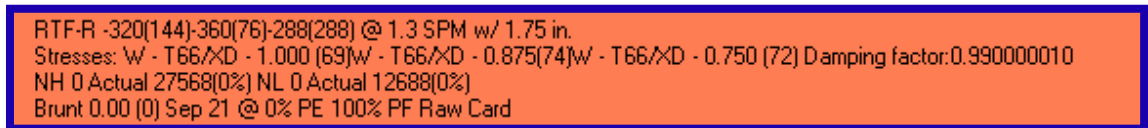


Figura N° 80.- Minireporte de las Cartas de superficie y de fondo del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford, LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

- Para hacer un reporte de Análisis, seleccionar la pestaña de Análisis de Reporte y desplegar el reporte de análisis de las Cartas seleccionadas en LOWIS™.

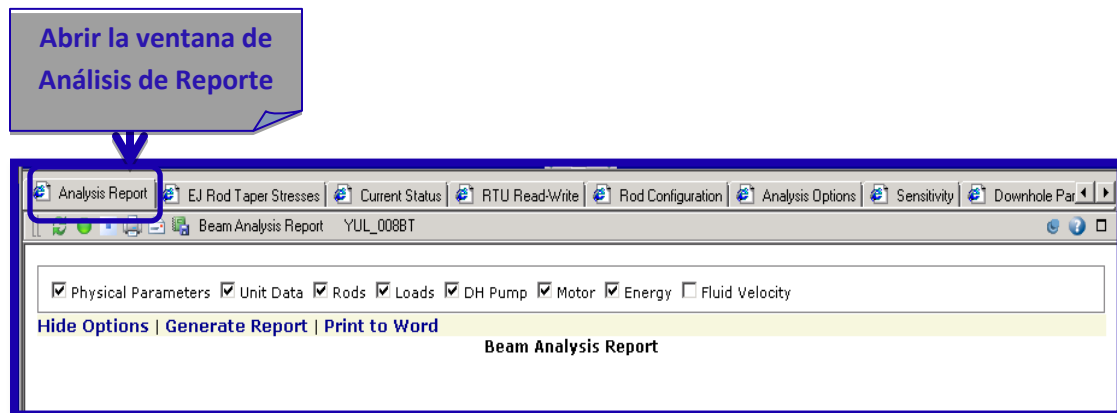


Figura N° 81.- Ventana de LOWIS™ desplegada en la pestaña Análisis de Reporte del pozo Yulebra 08
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

- Una vez desplegado el Reporte de Análisis de las Cartas seleccionadas en LOWIS, podemos observar Parámetros Físicos, Datos de la Unidad, Parámetros de las Varillas, Cargas de Varillas, Bombas de Fondo y Costos, con esto se tiene un análisis completo del pozo.

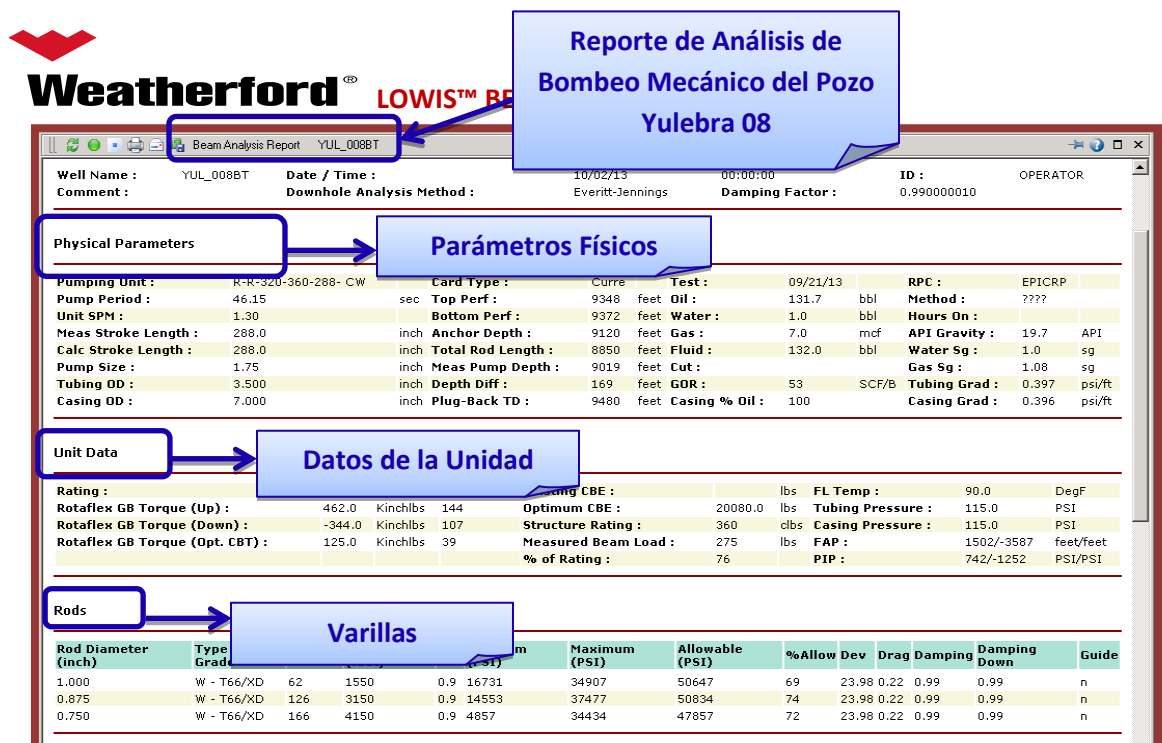


Figura N° 82.- Reporte de Análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

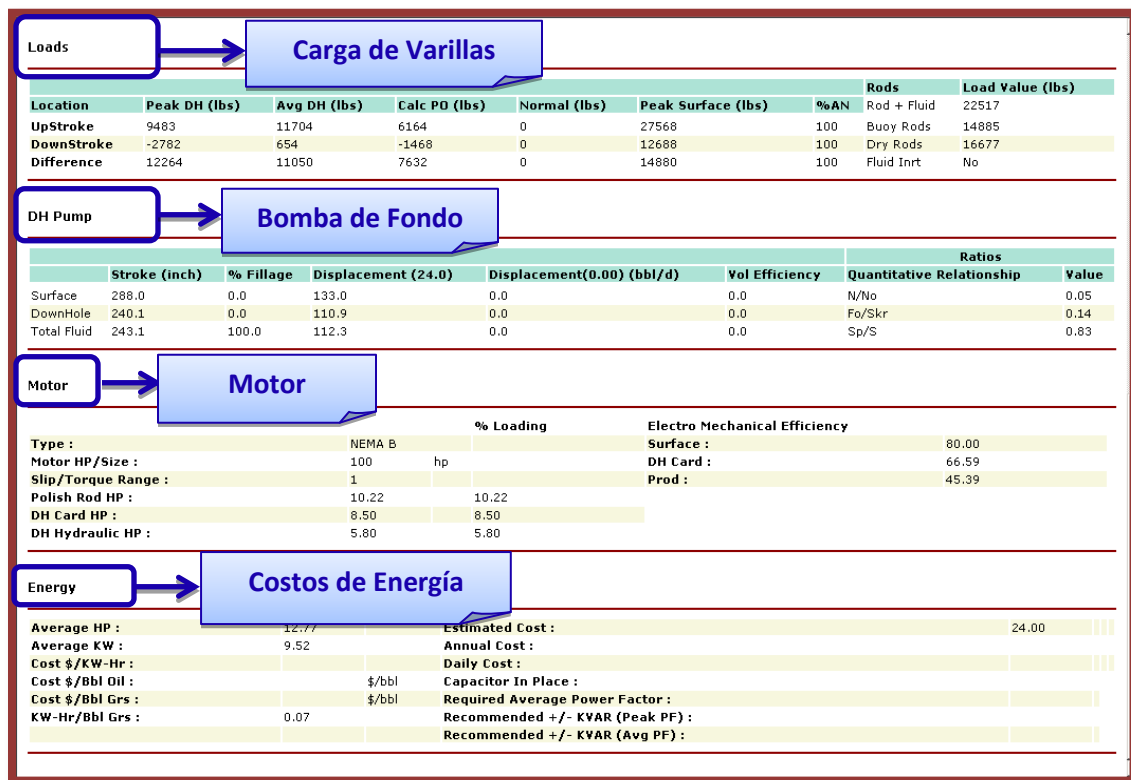


Figura N° 83.- Reporte de Análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

8. Seleccionar la pestaña de Análisis de Varillas y desplegar el reporte de análisis de las Cartas seleccionadas en LOWIS.

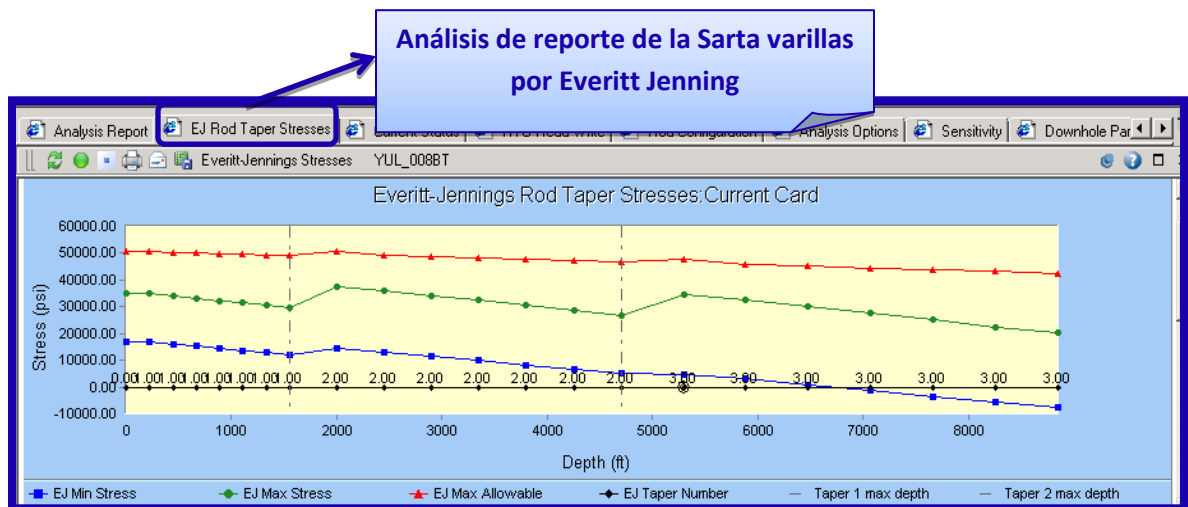


Figura N° 84.- Ventana desplegada por LOWIS™ Beam con la pestaña Estrés de la Sarta de varillas por Everitt Jennings del pozo Yulebra 08
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

LOWIS presenta un diagrama en donde se muestran los comportamientos de cada sarta de varillas, utilizando el método de Everitt Jennings en donde podemos observar que el comportamiento de las sartas no presenta ningún irregularidad.

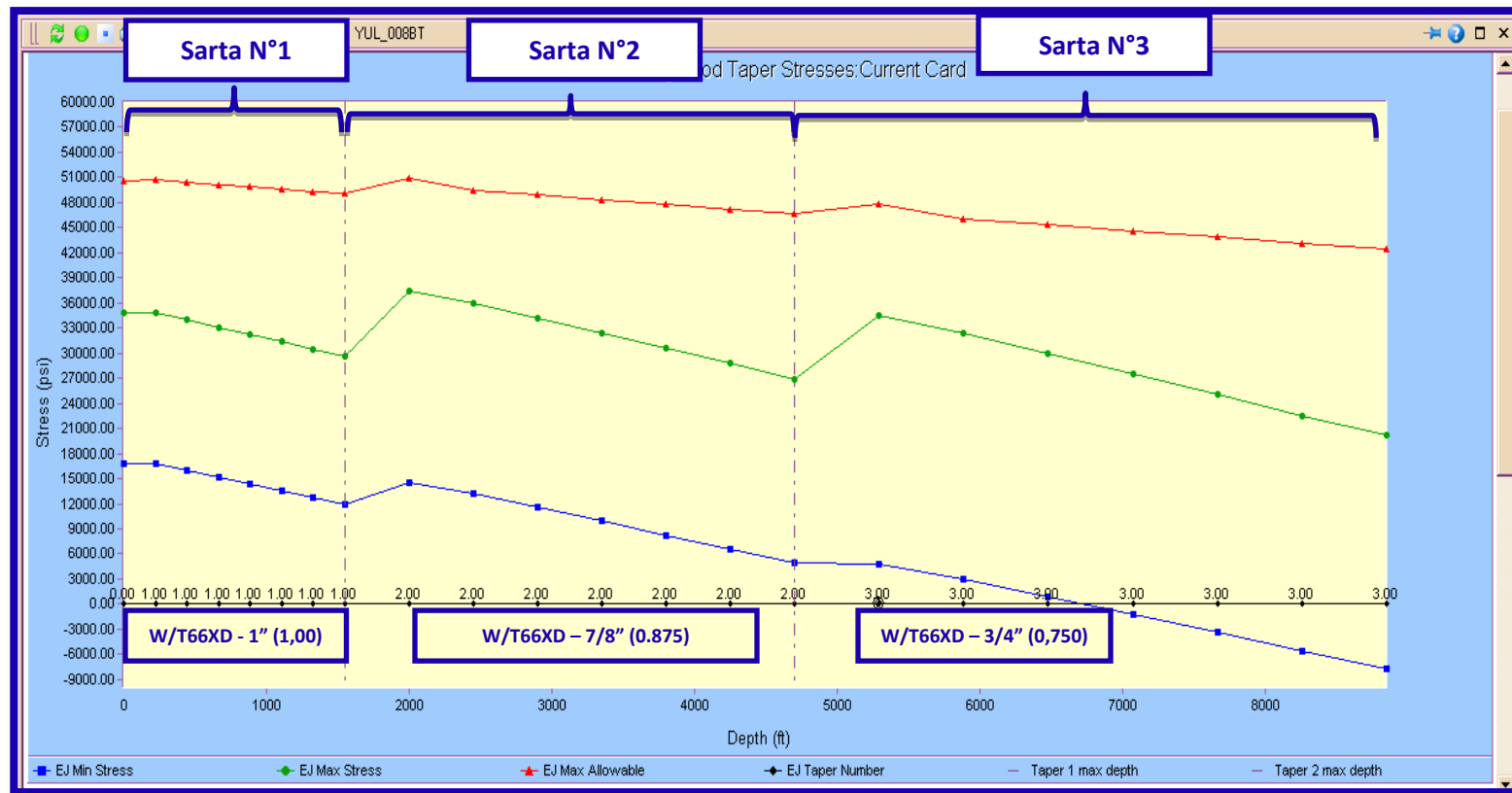


Figura N° 85.- Reporte de Análisis del Estrés de las varillas del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™
 Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
 Realizado por: Melina Estrada B.

Además nos presenta una tabla con los datos de la Figura N°84 de cada sarta de varilla donde tenemos las profundidades y los diferentes Stress de cada varilla separada en las diferentes secciones.

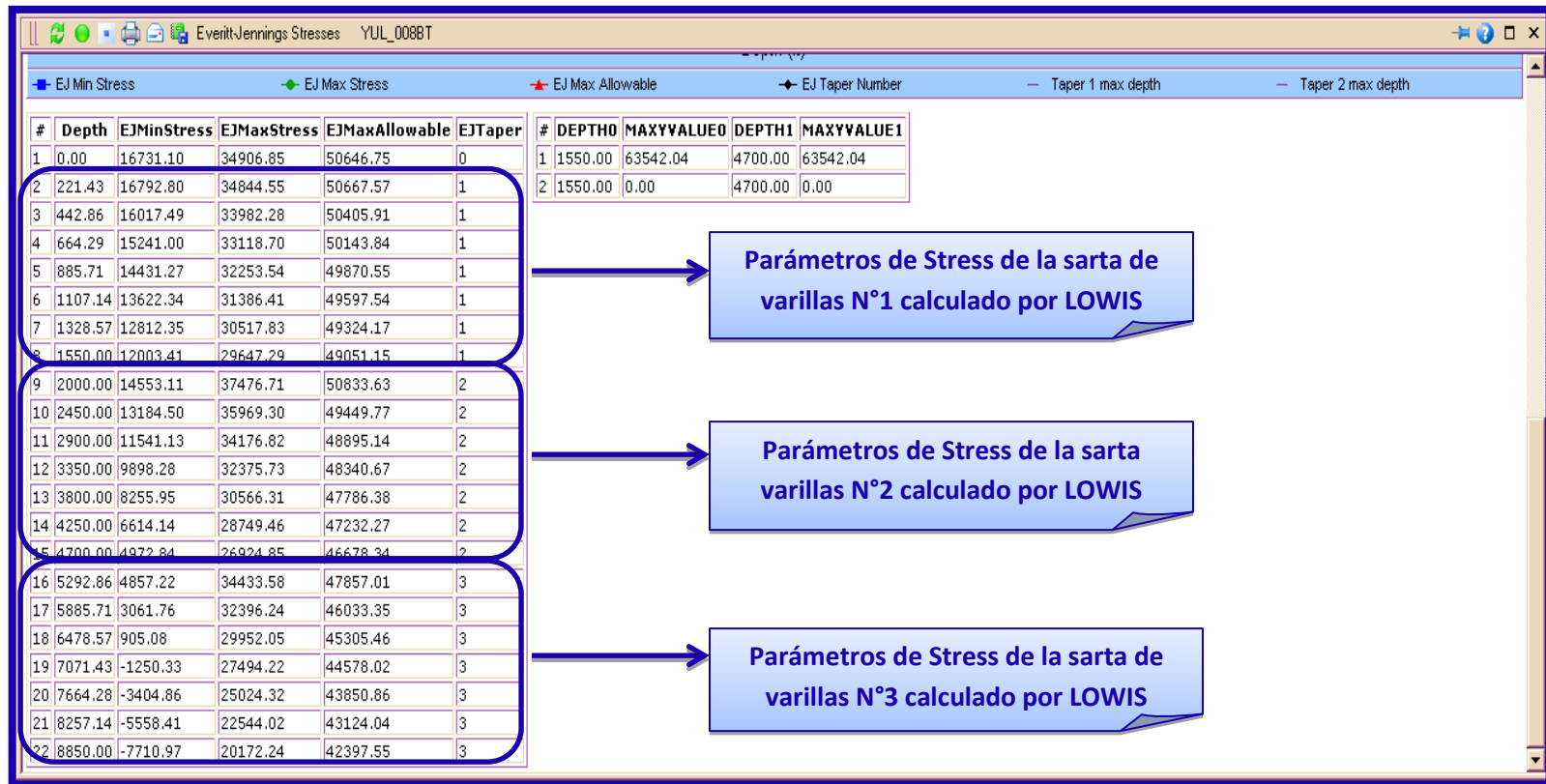


Figura N° 86.- Tabla con los valores correspondientes a cada Sarta de Varillas del pozo Yulebra 08 presentado por LOWISTM
Fuente: Software LOWISTM Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

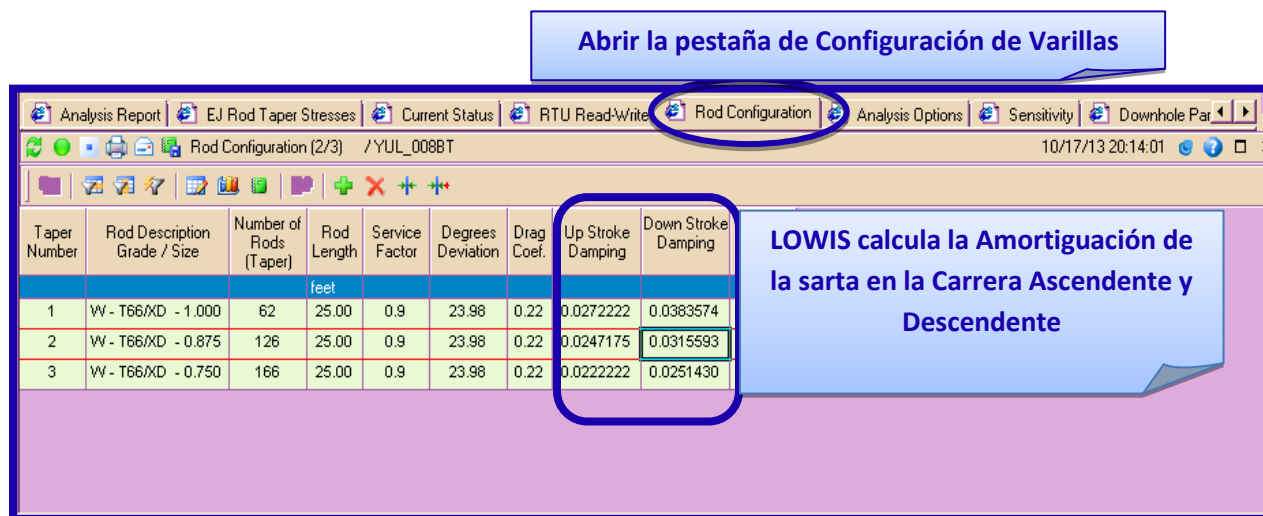


Figura N° 87.- Ventana desplegada para la configuración de la sarta de varillas del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

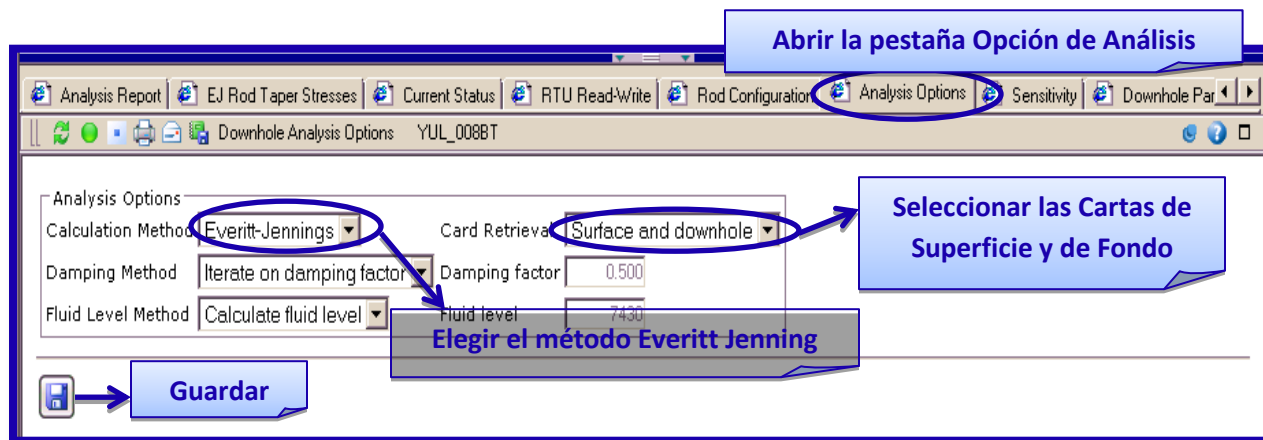


Figura N° 88.- Ventana desplegada para elegir la Opción de Análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

Abrir la pestaña Opción de Sensibilidad

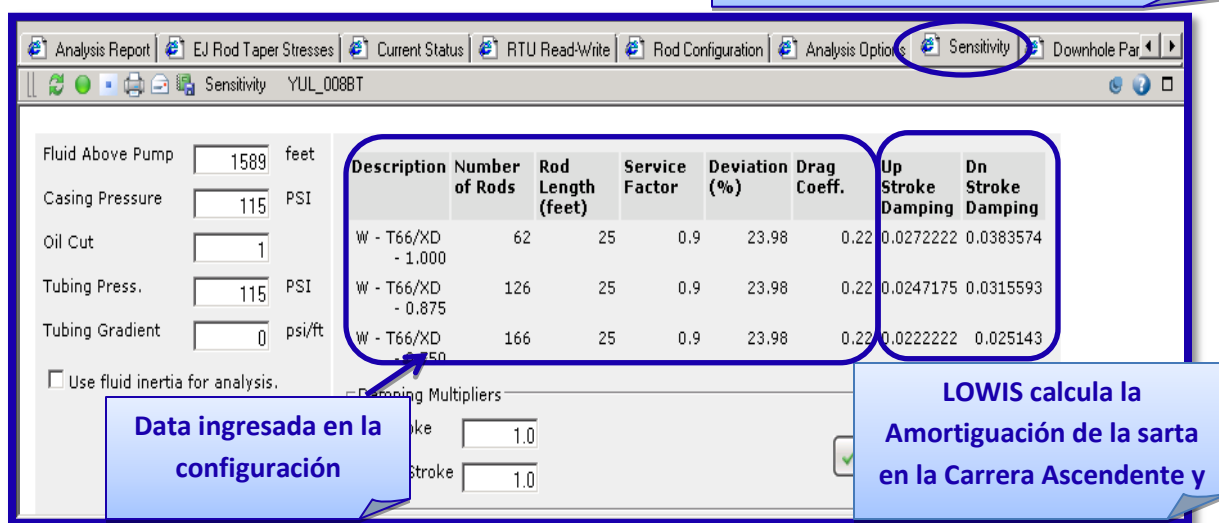


Figura N° 89.- Pestaña de Sensibilidad del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

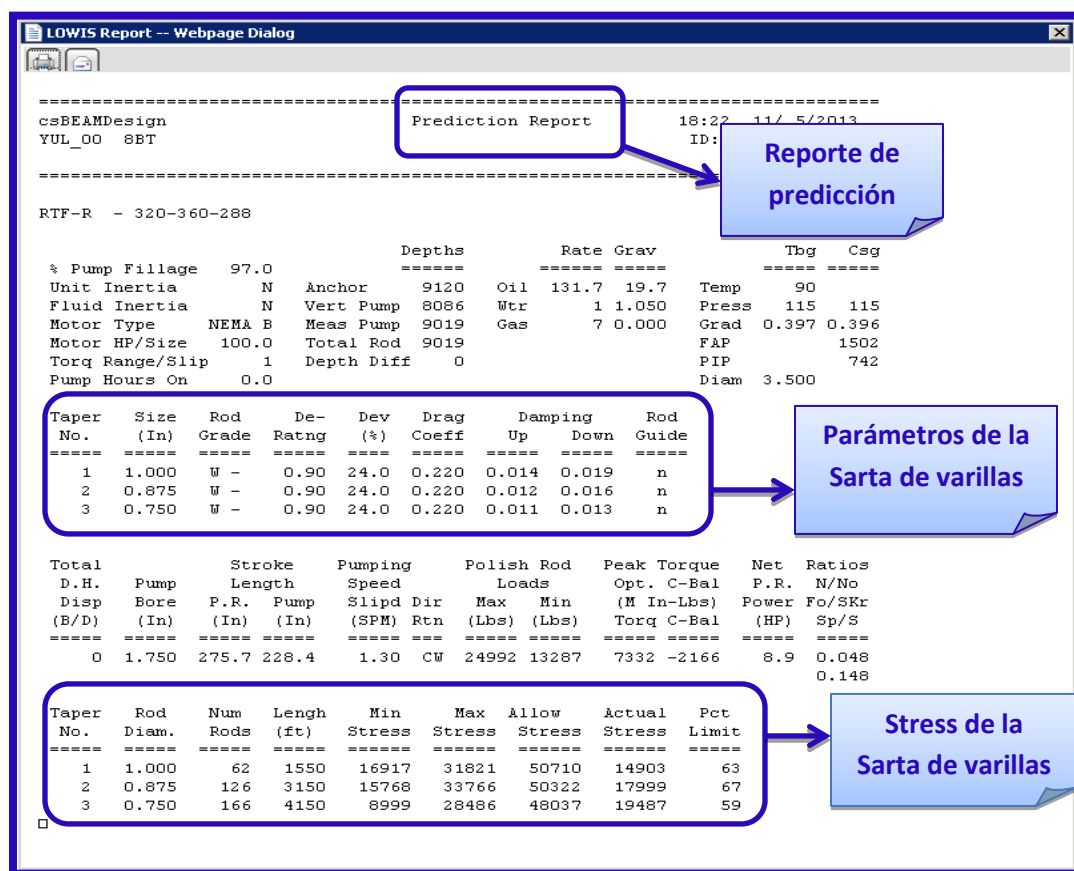


Figura N° 90.-Reporte de Sensibilidad del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

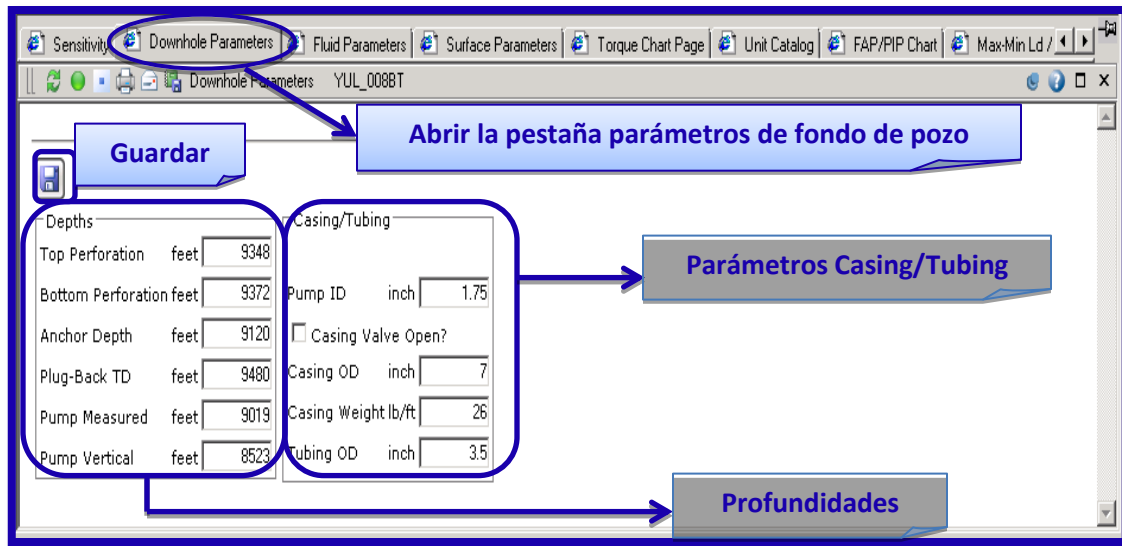


Figura N° 91.- Ventana desplegada en la configuración de los Parámetros de Fondo del Pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

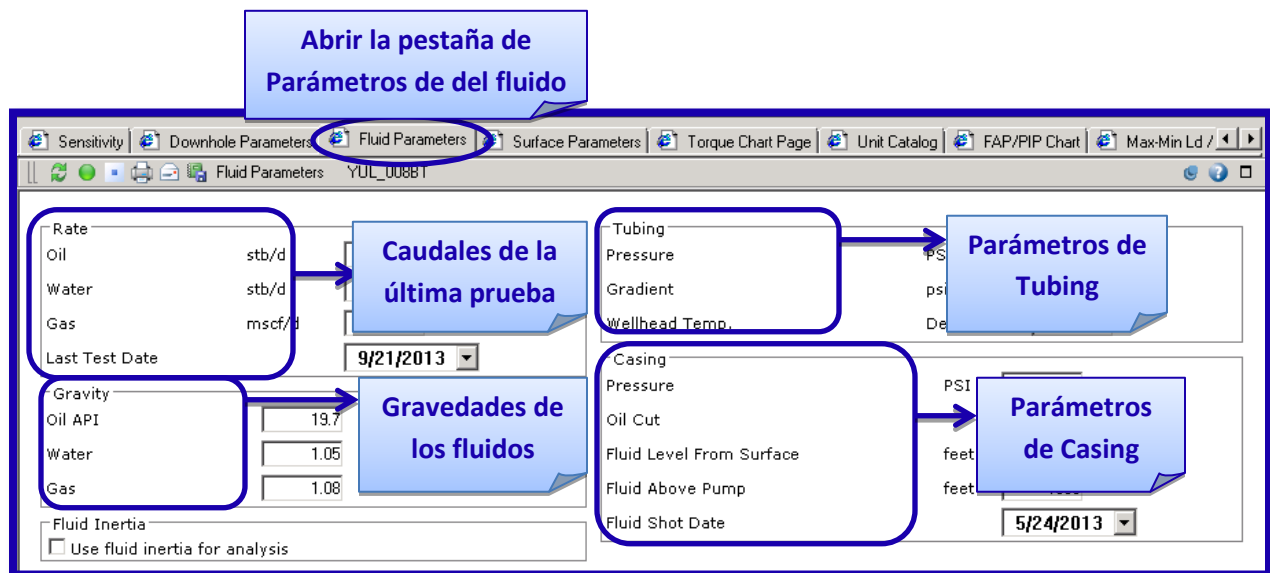


Figura N° 92.- Ventana desplegada para la configuración de los parámetros del fluido del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

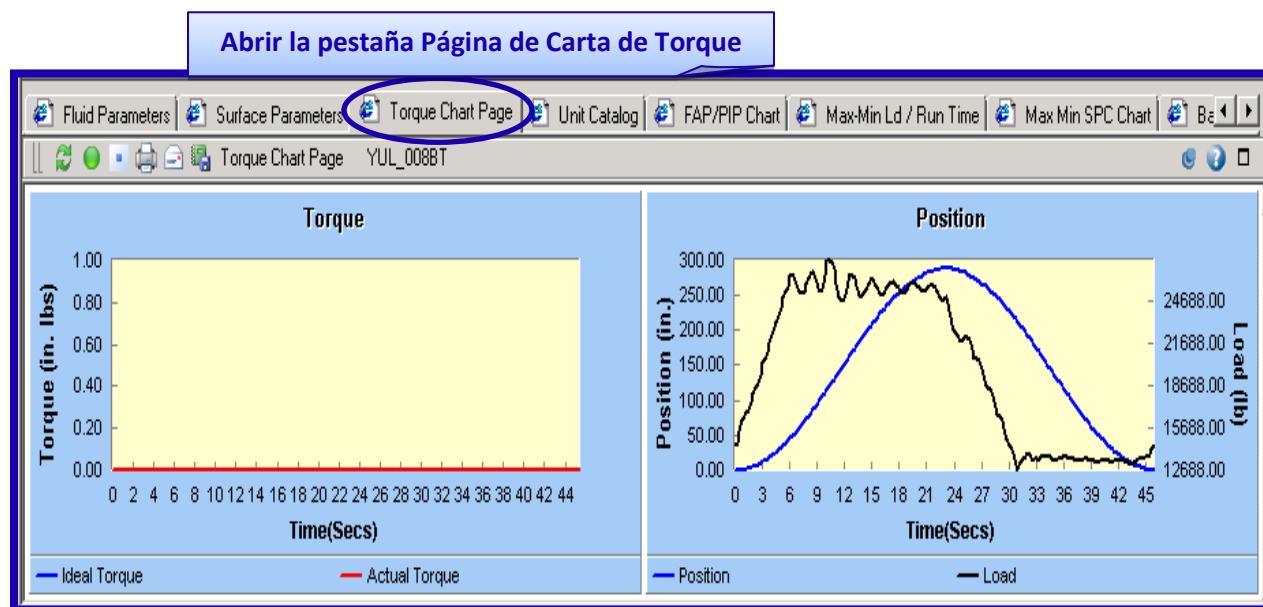


Figura N° 93.- Ventana desplegada para la gráfica de los parámetros de Tiempo vs Carga y Posición del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

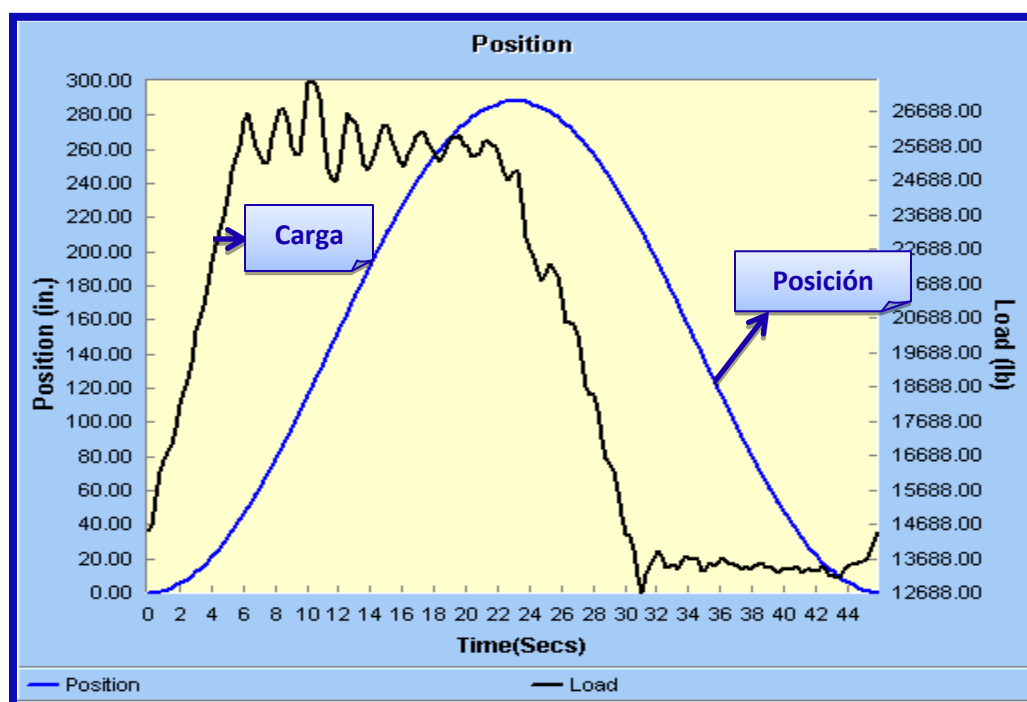


Figura N° 94.- Gráfica de Tiempo vs Carga y Posición del pozo Yulebra 08 presentada por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

Position											
#	TIME	Position	Load	36	8.83	91.80	26400.00	72	17.91	253.90	25616.00
1	0.00	0.00	14496.00	37	9.08	96.30	25664.00	73	18.16	257.30	25360.00
2	0.25	0.00	14640.00	38	9.33	100.90	25424.00	74	18.41	259.60	25248.00
3	0.50	0.00	15472.00	39	9.58	106.50	25456.00	75	18.66	263.00	25408.00
4	0.76	1.10	16208.00	40	9.84	111.10	26464.00	76	18.92	265.30	25712.00
5	1.01	1.10	16544.00	41	10.09	115.60	27536.00	77	19.17	267.50	25952.00
6	1.26	2.20	16768.00	42	10.34	120.10	27568.00	78	19.42	270.90	25920.00
7	1.51	3.40	16976.00	43	10.59	125.80	27488.00	79	19.67	273.20	25984.00
8	1.77	4.50	17488.00	44	10.84	130.30	27056.00	80	19.92	274.30	25728.00
9	2.02	5.60	18160.00	45	11.10	134.90	25952.00	81	20.18	276.60	25648.00
10	2.27	6.80	18560.00	46	11.35	140.50	25024.00	82	20.43	278.90	25360.00
11	2.52	7.90	18880.00	47	11.60	145.10	24720.00	83	20.68	280.00	25424.00
12	2.77	10.20	19392.00	48	11.85	149.60	24656.00	84	20.93	282.30	25488.00
13	3.03	12.40	20320.00	49	12.11	155.30	25120.00	85	21.19	283.40	25792.00
14	3.28	13.60	20624.00	50	12.36	159.80	26000.00	86	21.44	284.50	25792.00
15	3.53	15.80	21040.00	51	12.61	164.40	26624.00	87	21.69	285.70	25728.00
16	3.78	18.10	21632.00	52	12.86	170.00	26464.00	88	21.94	285.70	25680.00
17	4.04	21.50	22304.00	53	13.11	174.60	26352.00	89	22.19	286.80	25344.00
18	4.29	23.80	22800.00	54	13.37	179.10	25792.00	90	22.45	288.00	24944.00
19	4.54	26.00	23248.00	55	13.62	183.60	25152.00	91	22.70	288.00	24688.00
20	4.79	29.40	23632.00	56	13.87	189.30	24976.00	92	22.95	288.00	24944.00
21	5.04	32.80	24208.00	57	14.12	193.80	25248.00	93	23.20	288.00	24944.00
22	5.30	36.20	24944.00	58	14.38	198.40	25584.00	94	23.46	288.00	24048.00
23	5.55	39.60	25344.00	59	14.63	202.90	25984.00	95	23.71	288.00	23040.00
24	5.80	43.00	25680.00	60	14.88	207.40	26288.00	96	23.96	286.80	22672.00
25	6.05	46.40	26416.00	61	15.13	212.00	26256.00	97	24.21	285.70	22432.00
26	6.31	49.80	26656.00	62	15.38	215.40	25856.00	98	24.46	285.70	22064.00
27	6.56	53.20	26160.00	63	15.64	219.90	25584.00	99	24.72	284.50	21776.00
28	6.81	57.80	25680.00	64	15.89	224.50	25216.00	100	24.97	283.40	21952.00
29	7.06	61.20	25440.00	65	16.14	227.90	25088.00	101	25.22	282.30	22256.00
30	7.31	65.70	25184.00	66	16.39	232.40	25408.00	102	25.47	280.00	22096.00
31	7.57	70.20	25248.00	67	16.65	235.80	25616.00	103	25.73	278.90	21920.00
32	7.82	73.70	25920.00	68	16.90	240.30	25952.00	104	25.98	276.60	21280.00
33	8.07	78.20	26352.00	69	17.15	243.70	26048.00	105	26.23	274.30	20544.00
34	8.32	82.70	26720.00	70	17.40	247.10	26096.00	106	26.48	273.20	20544.00
35	8.58	87.30	26720.00	71	17.65	250.50	25760.00	107	26.73	270.90	20512.00

Tabla N° 19.- Tabla de datos presentada por LOWIS™ para la gráfica Tiempo vs Carga y Posición
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford, LA. – Artificial Lift System – Production Optimization

108	26.99	267.50	20208.00	144	36.07	115.60	13712.00
109	27.24	265.30	19488.00	145	36.32	111.10	13616.00
110	27.49	263.00	18672.00	146	36.57	106.50	13504.00
111	27.74	259.60	18448.00	147	36.82	100.90	13504.00
112	27.99	257.30	18448.00	148	37.07	96.30	13456.00
113	28.25	253.90	18000.00	149	37.33	91.80	13392.00
114	28.50	250.50	17168.00	150	37.58	87.30	13488.00
115	28.75	247.10	16592.00	151	37.83	82.70	13392.00
116	29.00	243.70	16448.00	152	38.08	78.20	13456.00
117	29.26	240.30	16240.00	153	38.34	73.70	13536.00
118	29.51	235.80	15680.00	154	38.59	70.20	13568.00
119	29.76	232.40	14928.00	155	38.84	65.70	13424.00
120	30.01	227.90	14400.00	156	39.09	61.20	13456.00
121	30.26	224.50	14336.00	157	39.34	57.80	13360.00
122	30.52	219.90	13936.00	158	39.60	53.20	13296.00
123	30.77	216.50	13152.00	159	39.85	49.80	13360.00
124	31.02	212.00	12688.00	160	40.10	46.40	13424.00
125	31.27	207.40	13232.00	161	40.35	43.00	13392.00
126	31.53	202.90	13488.00	162	40.61	39.60	13424.00
127	31.78	198.40	13664.00	163	40.86	36.20	13456.00
128	32.03	193.80	13888.00	164	41.11	32.80	13280.00
129	32.28	189.30	13760.00	165	41.36	29.40	13376.00
130	32.53	184.80	13424.00	166	41.61	26.00	13376.00
131	32.79	179.10	13488.00	167	41.87	23.80	13344.00
132	33.04	174.60	13520.00	168	42.12	21.50	13312.00
133	33.29	170.00	13376.00	169	42.37	18.10	13472.00
134	33.54	164.40	13616.00	170	42.62	15.80	13376.00
135	33.80	159.80	13744.00	171	42.88	13.60	13184.00
136	34.05	155.30	13680.00	172	43.13	12.40	13184.00
137	34.30	149.60	13648.00	173	43.38	10.20	13136.00
138	34.55	145.10	13648.00	174	43.63	7.90	13248.00
139	34.80	140.50	13344.00	175	43.88	6.80	13408.00
140	35.06	134.90	13376.00	176	44.14	5.60	13504.00
141	35.31	130.30	13552.00	177	44.39	4.50	13504.00
142	35.56	125.80	13472.00	178	44.64	3.40	13552.00
143	35.81	120.10	13584.00	179	44.89	2.20	13616.00
				180	45.14	1.10	13616.00
				181	45.40	1.10	13840.00
				182	45.65	0.00	14144.00
				183	45.90	0.00	14448.00

Tabla N° 20.- Tabla de datos presentada por LOWIS™ para la gráfica Carga vs Posición
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

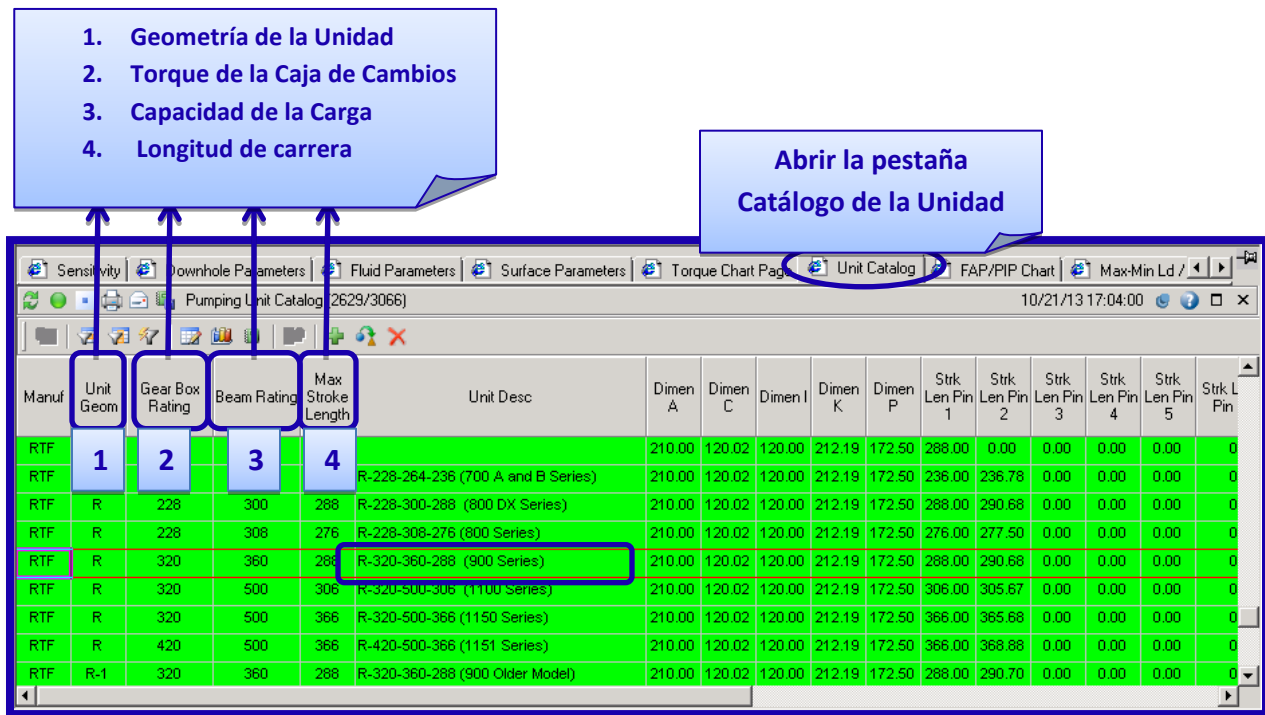


Figura N° 95.- Ventana desplegada del Catálogo de la Unidad de Bombeo del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

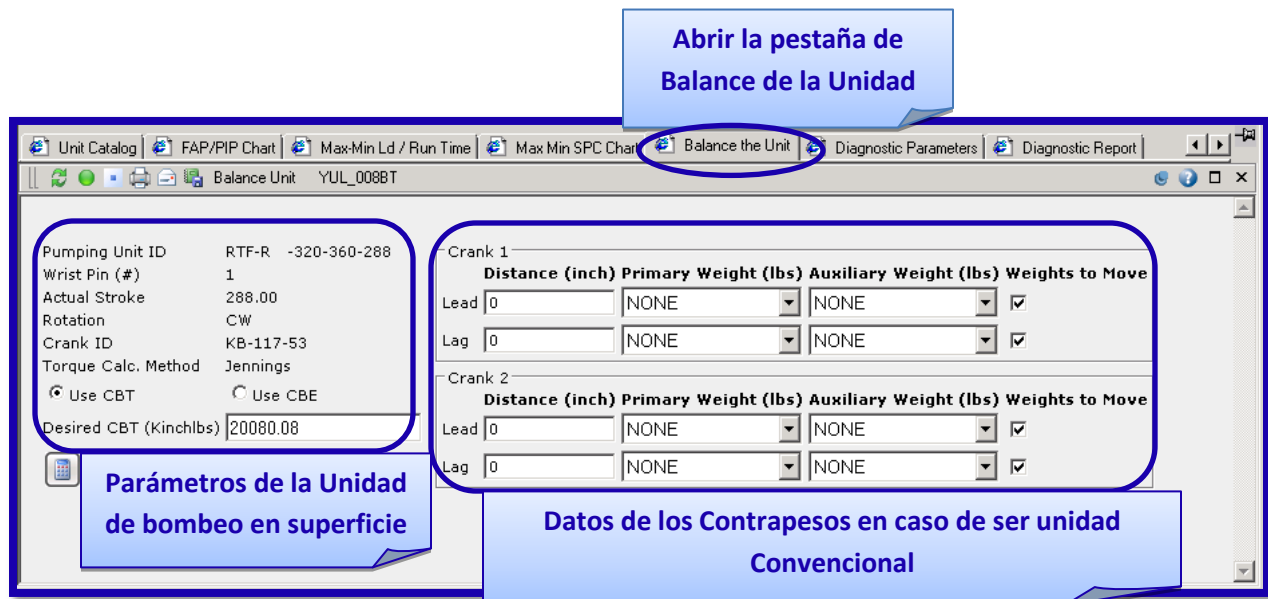


Figura N° 96.- Ventana desplegada para elegir la pestaña de Balance de la Unidad del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

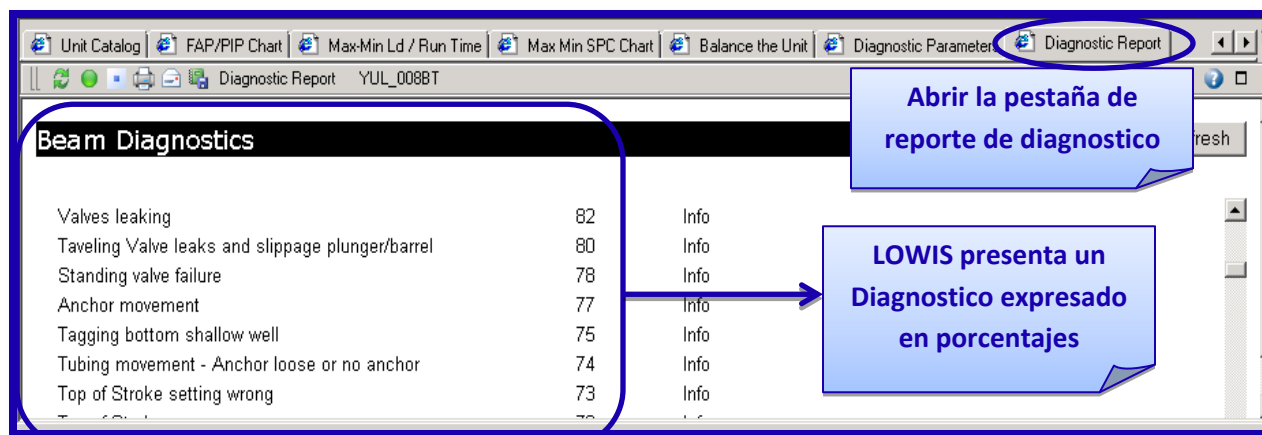


Figura N° 97.- Ventana desplegada para elegir la pestaña del Reporte de Diagnóstico del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
 Realizado por: Melina Estrada B.



Weatherford™ LOWIS™ BEAM



Figura N° 98.- Reporte de Análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
 Realizado por: Melina Estrada B.

Beam Diagnostics			Refresh
Tagging bottom shallow well	75	Info	
Tubing movement - Anchor loose or no anchor	74	Info	
Top of Stroke setting wrong	73	Info	
Top of Stroke	70	Info	
Excessive Friction swallow well	69	Info	
RPC Load Cable problem	65	Info	
Valve closer slow tubing movement	65	Info	
Ring Valve pump - Sever Pump off	64	Info	
Parted deep, Failed Valves or broken plunger	64	Info	
RPC Load Drift	63	Info	
Gas Lock SV failed to close	60	Info	
High Fluid Level	59	Info	
Shallow well PO, dead oil. (surface)	57	Info	
Traveling valve failure - curved DH card motion sim problem	57	Info	
Top of Stroke wrong	56	Info	
Tagging and gas compression	55	Info	
Gas Lock, deep well	53	Info	
Deep Rod part or lose of valve action	53	Info	
Neg loop on pump card indicates damping too high	45	Info	
Gas Locking no fluid available or pump intake blocked	39	Info	
Deep Well High Fluid Level Normal Pump Action	34	Info	
High Fluid Level on a deep well lose of pump action	25	Info	
Cable fail	23	Info	
Sever Pump Off	22	Info	
Load Cable bad	17	Info	
Gas Locked, No fluid Available or Blocked pump intake	14	Info	
Rods parted at beginning of the upstroke	13	Info	
Pumped off with gas compression	10	Info	

Beam Diagnostics			Refresh
Load Calibration			
There is a 11% difference between the measured maximum load of 27568 (lbs) . and the calculated maximum load of 25042 (lbs) .			
There is a 6% difference between the measured minimum load of 12688 (lbs) . and the calculated minimum load of 13421 (lbs) .			
There is a 29% difference between the measured load span of 14880 (lbs) . and the calculated load span of 11621 (lbs) .			
Polished Rod Horsepower			
There is a 2% difference between the measured polished rod horsepower of 9 (hp) and the calculated polished rod horsepower of 9 (hp) .			
Gearbox Torque			
The calculated (Jennings) gearbox torque indicates a -4% unit gearbox overload.			
The calculated (Jennings) gearbox overloading may reduce gearbox life by as much as -15%.			
Balance			
The calculated 39% difference between the peak upstroke and peak downstroke (Jennings) torque indicates that the pumping unit is out of balance.			
Peak gearbox torque can be reduced to 40% of the API gearbox rating if this unit is correctly balanced.			
Beam Loading			
The measured beam load of 77% of the API rating exceeds the acceptable limit of 0%.			
Rod Stress			
The peak rod stress of 64 % exceeds the acceptable limit of 0% for taper 1.			
The peak rod stress of 68 % exceeds the acceptable limit of 0% for taper 2.			
The peak rod stress of 66 % exceeds the acceptable limit of 0% for taper 3.			
Net Pump Efficiency			
The net pump efficiency is OK.			

Figura N° 99.- Reporte de Análisis del pozo Yulebra 08 presentado por LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

5.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con los reportes de resultados obtenidos de LOWIS se han podido expresar lograr dar algunos diagnósticos de las Unidades de Bombeo Mecánico. Se ha tomado en cuenta como referencia los datos de los Niveles y las Cartas Dinamométricas en el programa TWM Echometer para ser comparadas con LOWIS.

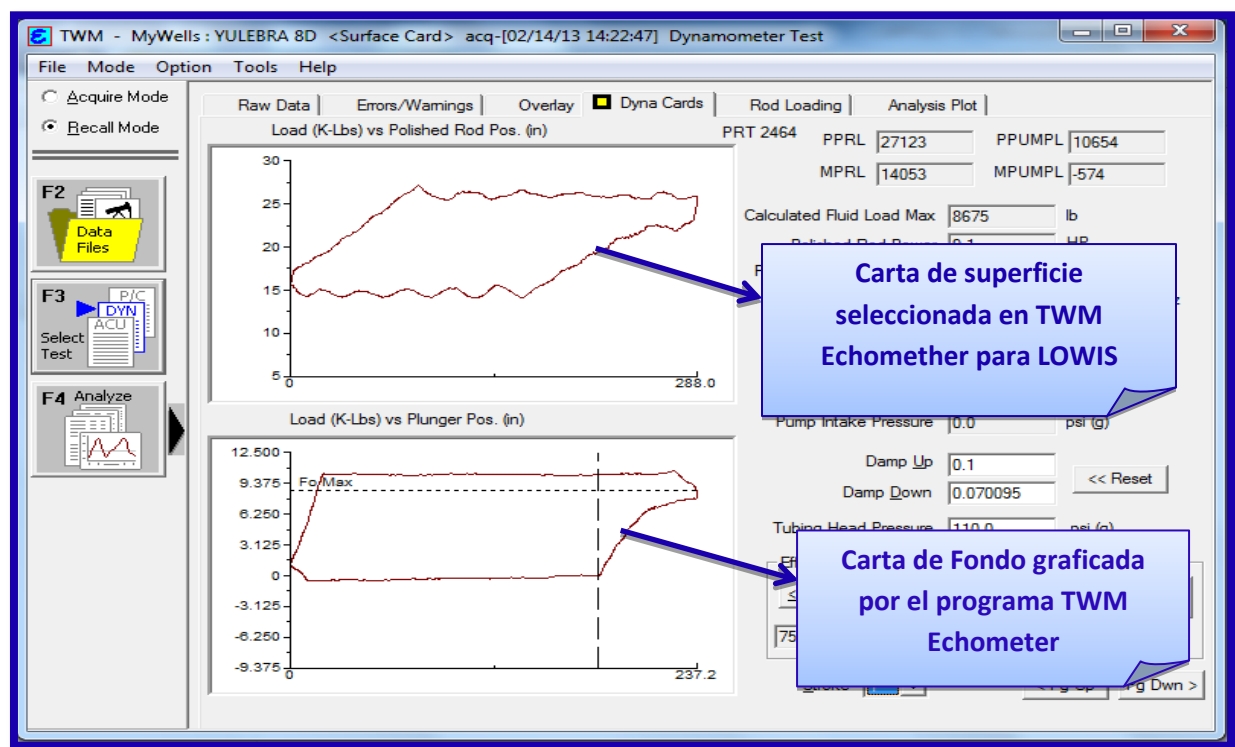


Figura N° 100.- Ventana desplegada de Cartas Dinamométricas del programa TWM Echometer

Fuente: Software TWM Echometer para lectura de cartas Dinamométricas.

Realizado por: Melina Estrada B.

Las cartas Dinamométricas que han sido tomado en cuenta y que corresponden al diagnostico que nos presenta LOWIS, han sido referidas de las siguientes cartas consultadas para poder tener un resultado determinar que acciones podemos tomar para prevenir pérdidas en la producción y también hacer mejoras para optimizar la producción de estos pozos.

El programa TWM Echometer se basa en el método Gilbert para graficar las cartas de fondo y de superficie a diferencia de LOWIS que se basa en el método de Gibbs y de Diferencias Finitas de Everitt – Jeninng que es considerado como un método exacto en el cálculo de Cartas Dinamométricas en Sistemas de Bombeo Mecánico.

A continuación se tiene una plantilla con diferentes diagramas Dinamométricos de fondo de acuerdo a los casos que se presentan en el fondo. Ver las figuras N°101 y N°102.

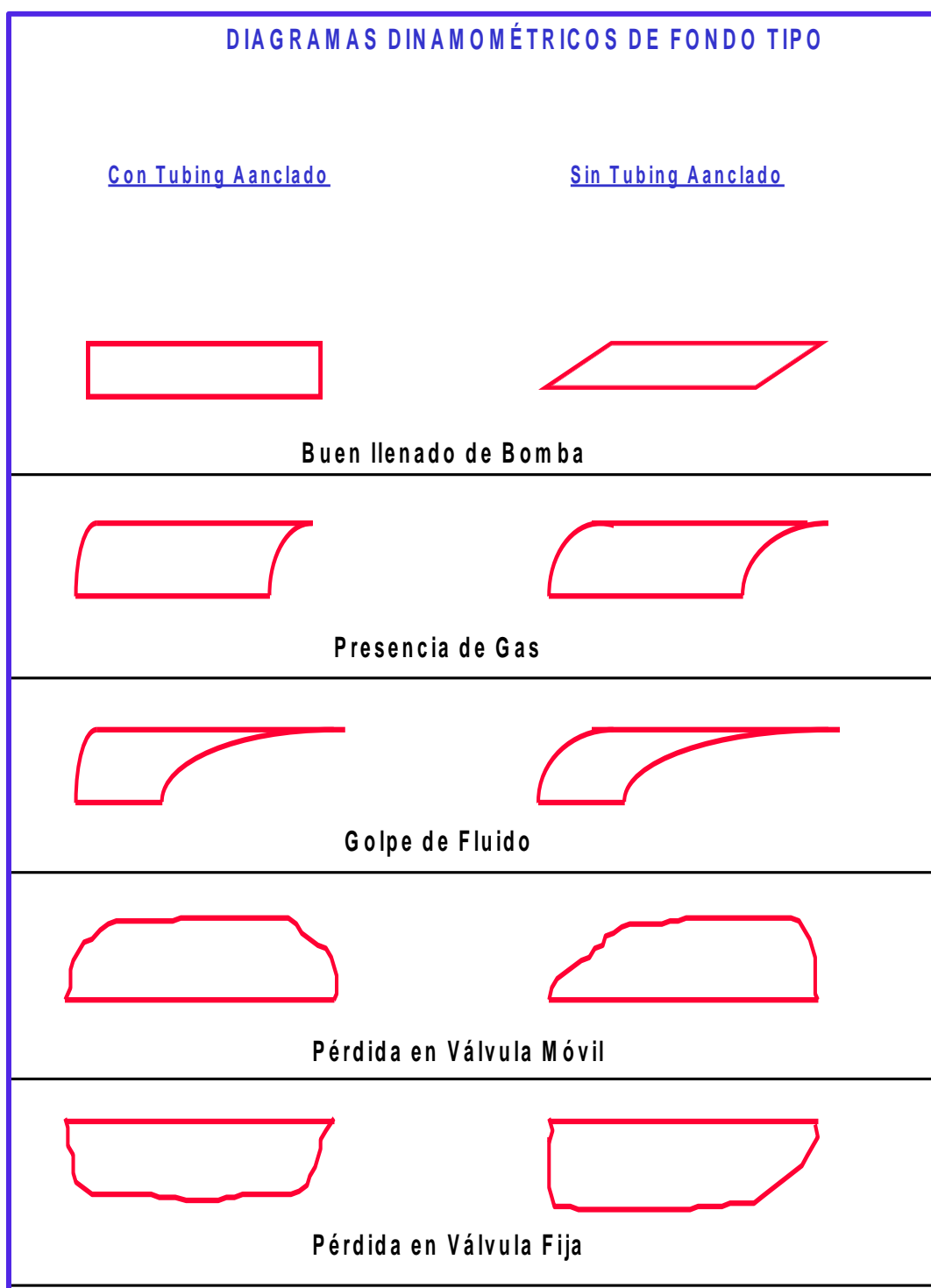


Figura N° 101. Plantilla de Cartas dinamométricas de fondo
Fuente: Dinamometría – Weatherford – Artificial Lift System

DIAGRAMAS DINAMOMÉTRICOS DE FONDO TIPO	
	
Pérdida en ambas válvulas	Presencia de Gas + Pérdida en V.M.
	
Fricción entre Pistón y Barril	Golpe de Bomba
	
Bomba Bloqueada por Gas	Bomba Agarrada
	
Pesca en varillas o Pozo surgente	Barril Fisurado
	
Petroleo Viscoso	Excesivo estiramiento de varillas
	
Falla de anclaje	Dispositivo mecánico para gas

Figura N° 102. Plantilla de Cartas Dinamométricas de Fondo
Fuente: Dinamometría – Weatherford – Artificial Lift System

5.3.1. Análisis de Resultados

5.3.1. Análisis del Pozo Yulebra 08

El pozo Yulebra 08 es un pozo en el cual se ha tenido algunos problemas con respecto a la presencia de gas, ya que como podemos observar en el Gráfico N°14 del Capítulo 4 el 24 de abril del 2011, el pozo se encuentra produciendo bajo el punto de burbuja.

Asimismo en el Gráfico N°14 del Capítulo 4 se puede observar que el 22 de mayo del 2011, realizan un Drenaje de Gas porque el pozo sigue produciendo bajo el punto de burbuja.

Y de acuerdo a las cartas de fondo que nos despliega LOWIS puesta en la Figura N°103, podemos fijarnos que el pozo sigue teniendo algunos inconvenientes con la presencia de gas, ya que de acuerdo a la interpretación de la Carta Dinamométrica basada en las en las plantillas que tenemos en LOWIS se puede diagnosticar que el pozo presenta interferencia de gas con un pequeño golpe de fluido durante la carrera descendente.

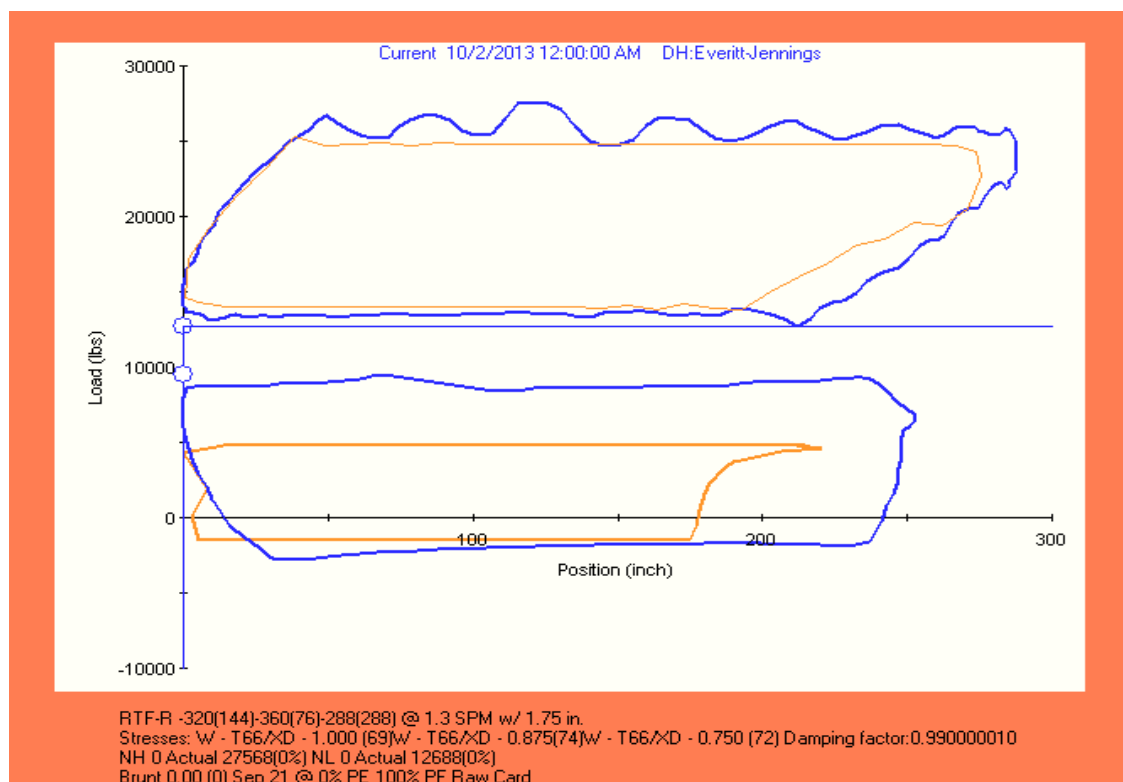


Figura N° 103.- Carta de superficie y de fondo graficada por LOWIS™

Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

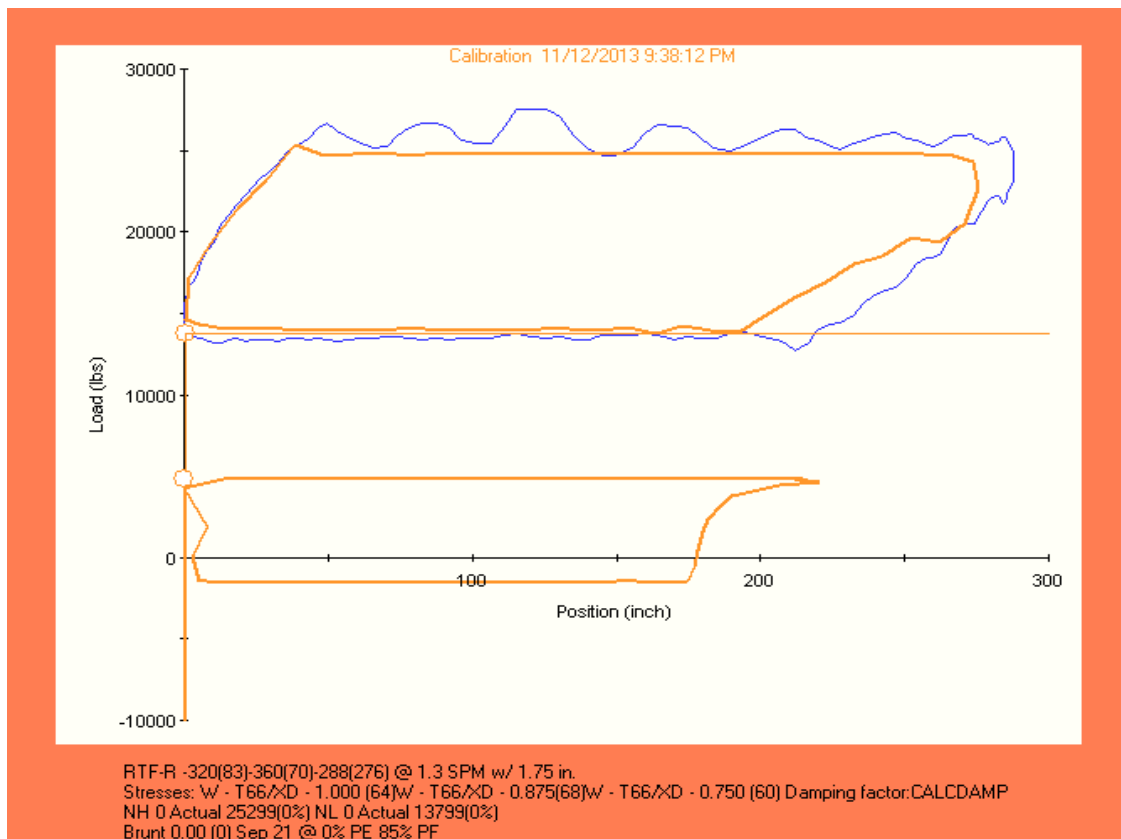


Figura N° 104.- Cartas de calibración de fondo y superficie graficada por LOWIS™
Fuente: Software LOWIS™ Beam - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

Así mismo lo demuestra la Gráfica Dinamométrica que nos presenta el programa Echometer TWM que no pertenece a la empresa Weatherford, y que ha sido tomado como referencia para realizar también el análisis. Además se nota que el ancla de la tubería no funciona correctamente y el peso de la sarta hacen que haya variaciones en la Carta. Y además se puede notar que los sensores no están bien calibrados.

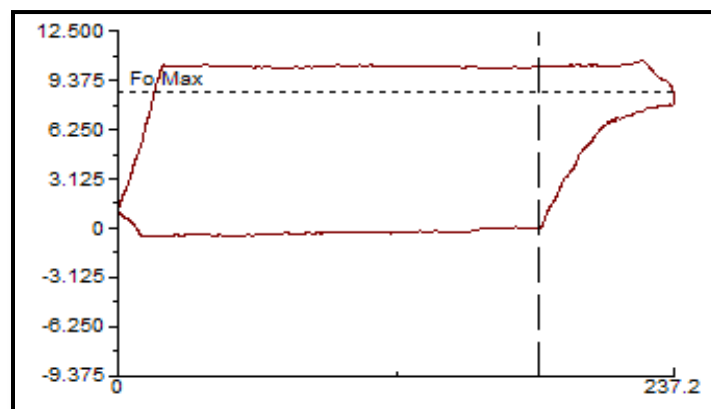


Figura N° 105.- Cartas de calibración de fondo y superficie graficada por TWM-Echometer
Fuente: Software TWM Echometer - Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

Como recomendaciones para éste pozo tenemos que revisar el Ancla de la Tubería porque puede estar fallando en Anclaje y puede incrementarse el peso en la sarta influyendo en la carrera descendente. Poner una válvula en la cabeza del pozo para que el fluido se mezcle con el gas y evite la interferencia de gas, pero se debe tomar en cuenta que la presión de burbuja debe ser menor que la presión de Intake de la Bomba.

Además debemos verificar que la viscosidad del fluido puede estar teniendo inconvenientes ya que si el fluido nos presenta mucha viscosidad también puede provocar que el peso en la sarta se incremente.

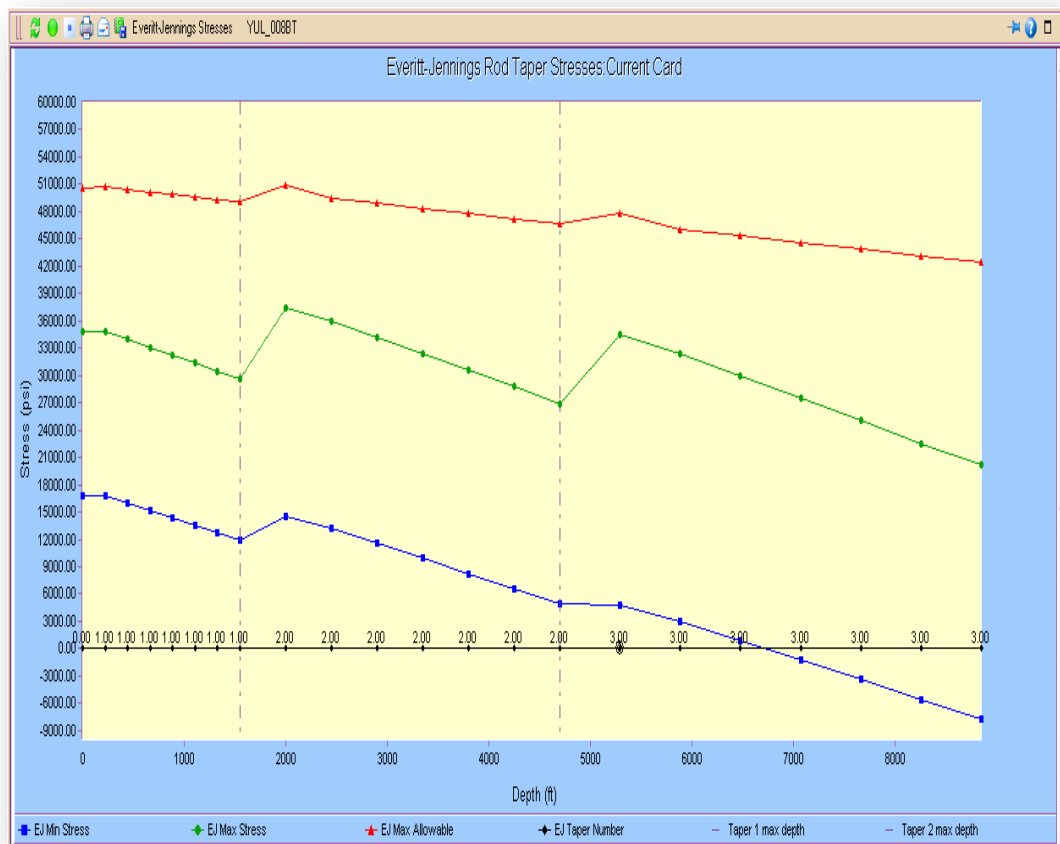


Figura N° 106.- Diagrama del Stress de las diferentes Sarts de varillas por Everitt Jennings presentada por LOWISTM

Fuente: Software LOWISTM Beam - Weatherford, LA. – Artificial Lift System – Production Optimization
Realizado por: Melina Estrada B.

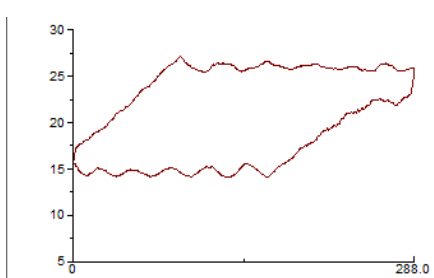
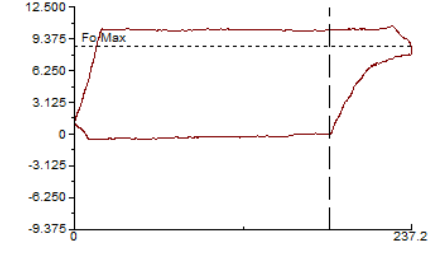
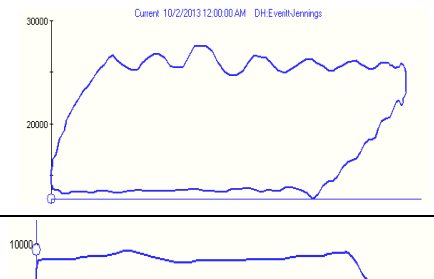
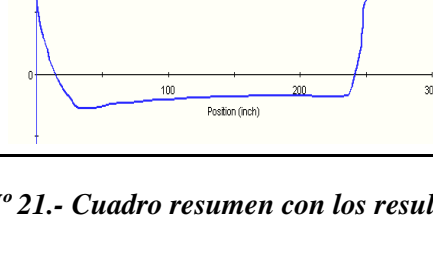
POZO YULEBRA 08 - ROTAFLEX 900				
CARTAS DINAMOMÉTRICAS		ANÁLISIS	DIAGNOSTICO	ACCIONES
CARTA DE SUPERFICIE GRAFICADA EN EL PROGRAMA TWM ECHOMETER		Pump Intake Pressure: 704,4 psi Liquid Level Depth: 7359,12 Sumerg. Pump: 1868 Oil: 23 °API Pumping Speed: 1,590 spm @ 30Hz Pump Intake: 9019 ft	La bomba de superficie funciona correctamente con una pequeña muestra de golpe de fluido.	
CARTA DE FONDO GRAFICA EN EL PROGRAMA TWM ECHOMETER			El Ancla de la Tubería no funciona correctamente y el peso de la sarta hacen que hayan variaciones en la Carta. Los sensores no están bien calibrados y no están censando bien. Hay interferencia de gas. Presencia de Golpe de fluido durante la carrera descendente	Revisar el Ancla de la Tubería porque puede estar fallando en Anclaje y puede incrementarse el peso en la sarta influyendo en la carrera descendente. Poner una válvula en el la cabeza del pozo para que el fluido se mezcle con el gas y evite la interferencia de gas, pero se debe tomar en cuenta que la presión de burbuja debe ser menor que la presión de intake de la bomba.
CARTA DE SUPERFICIE CARGADA EN LOWIS		R-320(0)-360(0)-288(0) @ 0,0 SPM w/1,75 in Stresses: W-T66/XD-1,00(0) ; W-T66/XD-0,875(0)W ; T66/XD - 0,75(0) Damping factor: CALCDAMP NH 0 Actual 27568(0%) NL 0 Actual 12688(0%) Brunt 0,00 (0) Sep 21 @ 0% PE 0% PF Raw Card		
CARTA DE FONDO GRAFICADA POR LOWIS (Everitt - Jennings)		R-320(144)-360(76)-288(288) @ 1.3SPM w/1,75in. Stresses: W-T66/XD-1.00(69) ; W-T66/XD-0,875(74) ; W-T66/XD-0,750(72) Damping factor: 0,990000010 NH 0 Actual 27568(0%) NL 0 Actual 12688(0%) Brunt 0.00(0) Sep 21 @ 0% PE 100%PF Raw Card		

Tabla N° 21.- Cuadro resumen con los resultados del Análisis Workbench del pozo Yulebra 08 de acuerdo al software LOWIS™
Realizado por: Melina Estrada B.

CAPITULO VI

6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONOMICO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO MECÁNICO INSTALADOS

6.1. ANÁLISIS TÉCNICO

El principal objetivo del proyecto es optimizar la producción en pozos de Bombeo Mecánico que han sido instalados con unidades convencionales y nuevas tecnologías, y que nos permitan monitorear en tiempo real estos pozos, con la finalidad de prevenir problemas y pérdidas en la producción, durante la vida productora de los pozos.

El proyecto de conexión con LOWIS Beam en la actualidad está puesto en marcha en pozos de Petroamazonas EP y tomando en cuenta las bondades que nos ofrece LOWIS y de acuerdo a la Data recolectada de los Well Pilots se ha podido tomar una muestra de cuatro de los veintiocho pozos que serán conectados para realizar un análisis Workbench y dar a conocer que beneficios se pueden obtener de conectar pozos con un programa que nos ayude a monitorearlos continuamente.

El pozo Yulebra 08 fue seleccionado para el proyecto de configuración y análisis con LOWIS™, ya que cuenta con las facilidades físicas como el sistema SCADA y pueden ser conectados al programa. En la siguiente tabla se presenta las características de los que han sido seleccionados para realizar el análisis Workbench.

Campo	Pozo	Unidad	Compañía	Arena Productora	Oil Bbl/d	Water Bbl/d	BSW %	Gas MSCF/d	API °API
AUCA	CULEBRA 07D	Unidad Rotaflex 900	WFT	UI	158,8	3,24	2	23,21	16
AUCA	YULEBRA 03	Unidad Rotaflex 900	WFT	BT	187	6,98	3,6	34,22	20,8
AUCA	YULEBRA 08	Unidad Rotaflex 900	WFT	BT	131,7	1,33	1	17,56	19,7
LIBERTADOR	SHUARA 09	Unidad Rotaflex 901	WFT	BT	142,6	1,44	1	7	21,6

Tabla N° 22.- Datos importantes de los pozos seleccionados para el proyecto en LOWIS™
Realizado por: Melina Estrada B.

6.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de los pozos seleccionados ha sido realizado en base a los cálculos de los ingresos y egresos con precios estimados del proyecto de conexión de pozos con el programa de optimización de la producción, para ello se ha tomado como referencia los resultados del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Costo/Beneficio (C/B) tomando en cuenta el precio del petróleo con un valor de \$100 por barril y una producción diaria de 100BPPD.

El proyecto es considerado económicamente rentable si se cumple con las siguientes condiciones:

- El Valor Actual Neto del Flujo Neto de Caja es mayor a cero.
- Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de actualización.

El Valor Actual Neto es la suma de todos flujos de caja actualizados de acuerdo a las tasas de interés actualizadas de acuerdo a los sistemas económicos en los que se encuentra el país donde se realiza el proyecto.

Mientras que la Tasa Interna de Retorno es la tasa en función del tiempo en donde se recupera la inversión expresado en días, meses o años.

6.2.1. Evaluación Económica

Para realizar un Análisis económico se ha estimado una tasa de actualización anual al 12% (con una tasa de actualización del 1%). No se considera una depreciación contable en los equipos por lo que no intervienen impuestos fiscales.

El estimado de la declinación de la producción del campo está en un promedio de 8% anual y que representa un 0,67% para un periodo de 30 días y para el análisis se ha tomado una producción promedio de 100BPPD.

Los ingresos se realizaron tomando en cuenta un estimado de \$100usd por barril. Y se calcularon multiplicando la producción mensual del pozo por el precio del barril aproximado a la fecha actual, con un consumo de energía de 0,06usd KW/H para este tipo de levantamiento.

En la tabla N°23 se muestran los egresos de un pozo instalado con Bombeo Mecánico.

INGRESOS ANUALES DE PRODUCCIÓN POR POZO	
Producción anual referencial con 100BPPD	57312 BPPD
Valor Anual de la producción estimada con un precio aproximado de \$100 por barril	\$ 3.725.267

Tabla N° 23.- Ingresos anuales de un pozo que ha sido seleccionado para ser conectado con LOWISTM
Realizado por: Melina Estrada B.

Los egresos anuales conforman los costos de los trabajos realizados anualmente con precios estimados de acuerdo a referencias tomadas de reportes de servicios en un pozo conectado con Bombeo Mecánico. En la tabla N°24 se muestran los valores de los egresos por producción estimados durante el mantenimiento anual de un pozo instalado con Bombeo Mecánico.

COSTOS ANUALES POR MANTENIMIENTO DE UN POZO CON BOMBEO MECÁNICO	USD (\$)
Engrase y Revisión (C/4meses)	30
Unidad de Bombeo Mecánico e Instalación	130000
Conexión Software LOWIS	25000
Cambio de Aceite (C/19 meses)	520
Cambio Rodamientos Unidad (C/año)	540
Cambio Correas Unidad (C/10 meses)	450
Cambio Correas Caja Reductora (C/año)	98
Mantenimiento Tablero Control (C/año)	10
Mantenimiento al Motor (C/6 meses)	200
Consumo de energía	2880
Servicio a pozos	400
Bombas de Subsuelo	1500
Costo de Reparación Bomba	145
Total Costos Anuales	161773

Tabla N° 24.- Precios estimados de mantenimiento de un pozo con Bombeo Mecánico y que ha sido conectado con LOWISTM
Realizado por: Melina Estrada B.

6.1.2. Resultados Económicos con respecto al VAN y TIR

Este proyecto es considerado económicamente rentable ya que de acuerdo al Valor Actual Neto para un pozo con una producción de 100BPPD y con un precio aproximado estimado de \$100 por barril, calculado para una producción de 2 años. Se obtuvieron resultados presentados en la tabla N°25 que se muestra a continuación:

VAN	TIR	C/B	T/R (días)	Costo por Barril (usd)
\$ 11.064.640	\$71,38	\$78	60	0,82

Tabla N° 25.- Egresos anuales de un pozo con Bombeo Mecánico y que ha sido conectado con LOWIS™

Realizado por: Melina Estrada B.

El Valor Actual Neto representa los ingresos de acuerdo a los a la suma de los flujos de caja de cada mes de acuerdo a los ingresos y egresos considerando precios estimados del mantenimiento de un pozo con Bombeo Mecánico y conectado con LOWIS.

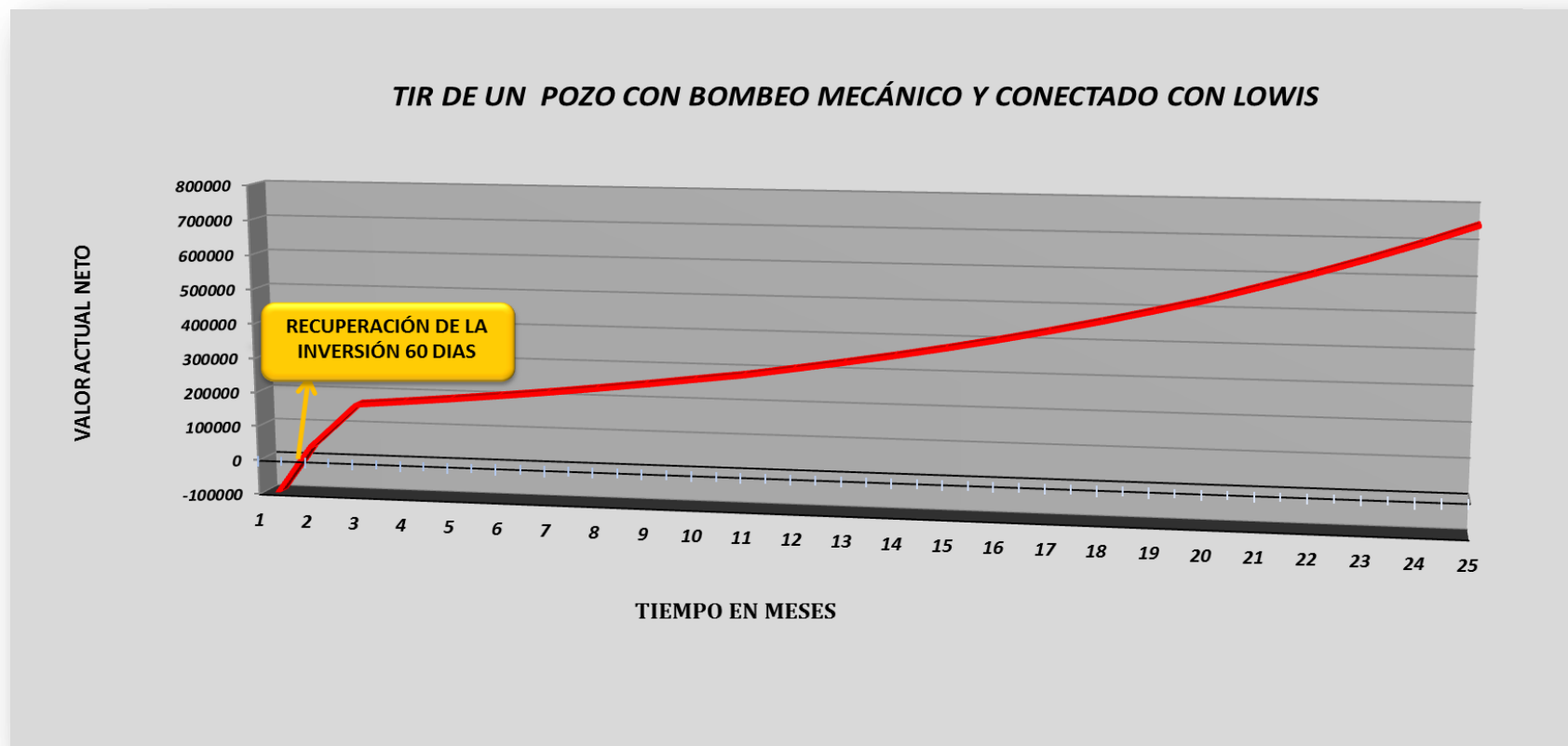
El valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor que la tasa de interés anual, por lo que es considerado económicamente rentable.

El valor del Costo/Beneficio es aceptable dentro del rango de rentabilidad de un negocio ya que nos expresa que por cada dólar gastado se recuperan \$78 de ganancia.

Además el tiempo en que podemos recuperar la inversión es de 60 días, tomando en cuenta que un pozo con Bombeo Mecánico tiene la posibilidad de tener años de productividad. Y si realizamos éste tipo de optimización, a la larga las ganancias son muy rentables.

Por último el costo por barril de petróleo producido es de \$0,82. Lo que nos expresa que es un costo despreciable en comparación de las utilidades que se pueden obtener cuando se conectan pozos con LOWIS, ya que la inversión nos genera nuevas oportunidades de ir mejorando la productividad del pozo y seguir recuperando en el futuro la inversión realizada. (Ver Gráfico N°15).

6.1.3. Diagrama de la Tasa Interna de Retorno del pozo conectado con LOWIS e instalado con Bombeo Mecánico.



*Gráfico N° 15.- Diagrama del Tiempo de Recuperación de la Inversión del Proyecto LOWIS™
Realizado por: Melina Estrada B.*

CAPITULO VII

7. SISTEMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PLANES DE CONTINGENCIA

7.1. NORMAS DE SEGURIDAD APLICADAS

“Weatherford se compromete a alcanzar los estándares de salud, seguridad y medioambiente. Es política de la Compañía cumplir todas las leyes y regulaciones aplicables dentro de sus áreas de operación, conducir dichas operaciones de manera que promuevan las prácticas de trabajo seguras y se eviten riesgos a los empleados, vecinos y el medioambiente, y se implementen programas, entrenamiento, y controles internos necesarios para alcanzar estos objetivos.”³⁹

La Seguridad de los Empleados de Weatherford se logra por medio del manual de las 8 joyas que permite que todos Manejen la Seguridad y son:

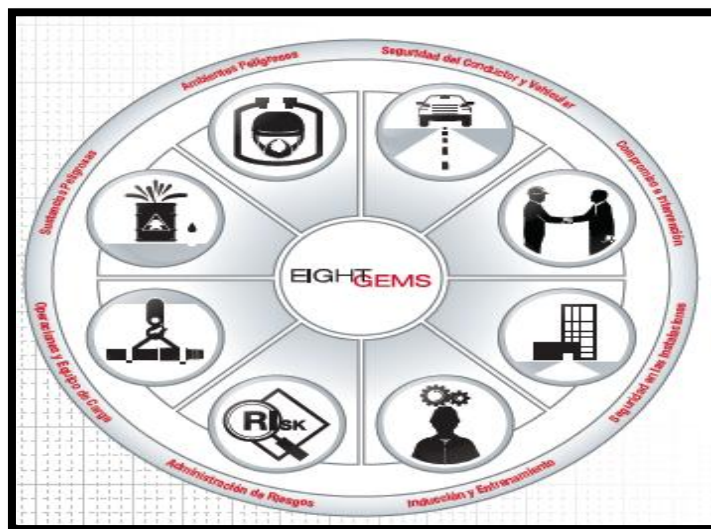


Figura N° 107.- Joyas de Seguridad de Weatherford

Fuente: Weatherford. International. LA

7.1.1. Administración de Riesgos

“Queremos que identifique de manera efectiva los peligros, riesgos en el lugar de trabajo y que aplique los controles adecuados a fin de evitar incidentes laborales.

Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Siempre usaré un permiso de trabajo cuando sea requerido.

³⁹ Weatherford International.LA.

- Siempre reportaré los peligros no controlados.
- Siempre me detendré y analizaré los peligros de la operación antes de empezar un trabajo.

Otros elementos importantes de esta joya:

Se debe completar un programa de prevención y evaluación de riesgos laborales (“take 5”) antes de comenzar todo trabajo.

Todos los empleados deben conocer los procedimientos de respuesta ante emergencia para la locación en la cual trabajan.

Todas las herramientas y equipos deben ser asegurados de manera apropiada a fin de evitar objetos caídos.⁴⁰



Figura N° 108.- Tomarse el tiempo para aplicar los controles adecuados.

Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.2. Operaciones y equipo de carga

“Esta joya trata de asegurar que toda la manipulación manual, elevación mecánica y movimiento de equipo industrial se lleve a cabo de manera segura.

Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Siempre inspeccionaré el equipo de izaje antes de usarlo.
- Siempre aseguraré las cargas antes de moverlas.
- Nunca me colocaré en el camino de una carga en movimiento.

⁴⁰ Weatherford International.LA.

Otros elementos importantes de esta joya:

Las evaluaciones previas a la elevación se deben completar previo a todo movimiento o evaluación.

Tanto las inspecciones visuales como las documentadas de todo equipo de perforación, eslingas y elevación se deben completar a fin de identificar defectos obvios.

Previo a toda elevación o movimiento, todo personal no crítico debe ser separado del área de elevación, incluyendo la carga y descarga de vehículos.”⁴¹



Figura N° 109.- No todas las operaciones de elevación tienen lugar en el trabajo.

Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.3. Sustancias peligrosas

“Queremos que trabaje de manea segura con sustancias peligrosas como así también al almacenarlas y manipularlas. Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Siempre revisaré las hojas de seguridad del producto (MsDs) antes de manipular sustancias peligrosas.
- Siempre seguiré las instrucciones de etiquetado de los recipientes y almacenaré adecuadamente las sustancias peligrosas.
- Nunca manipularé materiales especiales salvo que haya sido entrenado y esté capacitado para ello.

Otros elementos importantes de esta joya:

⁴¹ Weatherford International.LA.

Las evaluaciones de riesgo de sustancias específicas deben completarse antes de utilizarlas a fin de asegurarse que Ud. Se encuentra adecuadamente protegido.

Siempre solicitar asistencia a su supervisor antes de trabajar con una sustancia no familiar.

Si no está trabajando en forma directa con una sustancia peligrosa, evite todo tipo de contacto.”⁴²



Figura N° 110.- Mira antes de saltar.
Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.4. Ambientes peligrosos

Queremos que u se asegure que todo el trabajo se lleve a cabo de manera segura en ambientes peligrosos. Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Nunca me introduciré en espacios confinados sin autorización.
- Siempre estaré preparado para los ambientes en los cuales voy a trabajar.
- Siempre me aseguraré que la presión contenida sea ventilada de manera segura.
- Siempre utilizaré equipo de protección contra caídas al trabajar en alturas.

Otros elementos importantes de esta joya:

Se debe llevar a cabo una evaluación de riesgo específica antes de trabajar en cualquier ambiente peligroso.

Se deben planificar las situaciones de emergencia específicas y las respuestas y se deben revisar antes de ingresar a todo ambiente peligroso.

⁴² Weatherford International.LA.



Figura N° 111. Ha planificado lo que pueda no estar bien
Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.5. Seguridad del conductor y vehicular

“Queremos que tome las acciones solicitadas para mantenerlo a Ud. seguro al momento de conducir para Weatherford. Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Siempre conduciré de acuerdo a las condiciones de la vía y usaré el cinturón de seguridad.
- Siempre que me sienta fatigado, no conduciré.
- Nunca hablaré por teléfono mientras conduzco, ni me distraeré mientras conduzco.

Otros elementos importantes de esta joya:

Nunca ponga en riesgo su seguridad ni la de otros conduciendo con dificultades (alcohol, drogas, enfermo o cansancio).

El gerenciamiento del viaje es un requisito que aplica a todos los empleados mientras manejan con fines de la compañía y se requiere de un plan de viaje en las siguientes circunstancias:

Viajes que sobrepasen los 30 kilómetros (20 millas) del límite de una ciudad o una locación de campo.

Al conducir en áreas hostiles u otro tipo de circunstancias que tengan el potencial de conducir a un incidente (clima severo).

Todos los viajes llevados a cabo entre la medianoche y las 05:00hrs deben contar con la aprobación del gerente.

Se requieren inspecciones previas al viaje antes de cada viaje a fin de asegurar que su vehículo es apto para circular y que todo defecto deberá ser informado de manera inmediata.

Los conductores de Weatherford deben siempre tener una licencia de conducir válida para el tipo de vehículo que están conduciendo.”⁴³



Figura N° 112.- Los objetos en el espejo están más cerca de lo que aparentan.
Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.6. Compromiso e intervención

“Queremos que utilice su motivación personal para permanecer seguro y para cuidar a aquellas personas a su alrededor. Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Siempre intervendré y detendré actos inseguros.
- Siempre seguiré prácticas seguras y aprobadas de trabajo.
- Siempre usare los EPP adecuados para la tarea.

Otros elementos importantes de esta joya:

Todo empleado no solo tiene el derecho sino la obligación de detener el trabajo cuando las condiciones o comportamientos son inseguros.

Cuando se identifiquen actos y condiciones inseguras, se debe tomar acción inmediata a fin de rectificar la situación previo a informarla utilizando el proceso radar y la tarjeta.

Proceso radar: reconocer, acercarse, debatir, acordar y reportar.

Todos los casi accidentes, cualquiera fuere su gravedad, deben ser informados.

El reconocimiento de comportamientos seguros que promueven una cultura positiva de seguridad.

⁴³ Weatherford International.LA.

Todo el personal debe utilizar calzado con punta de acero, anteojos de seguridad, casco, guantes y la vestimenta apropiada en el taller, campo y locaciones de torres de perforación.

Se puede requerir EPP adicional para algunas tareas.”⁴⁴



Figura N° 113.- Te comprometes con la seguridad cuando nadie está mirando
Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.7. Seguridad en las instalaciones

“Queremos que haga uso de comportamientos, sistemas y procesos seguros en todas las instalaciones de Weatherford.

Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Siempre utilizaré el sistema de bloqueo/etiquetado cuando se requiera.
- Siempre mantendré mi lugar de trabajo libre de peligros.
- Siempre aseguraré los equipos antes de utilizarlos.
- Siempre me aseguraré de que los test de presión se llevan a cabo en ambientes controlados.

Otros elementos importantes de esta joya:

Cada uno tiene una responsabilidad personal de mantener el área de trabajo limpia, ordenada y bien organizada.

Todas las herramientas deben ser limpiadas después y almacenadas en el lugar apropiado.

Las barreras o dispositivos de seguridad colocados para protegerlos, como barandas para máquinas o barandas para manos, nunca se deben alterados o eludidos.”⁴⁵

⁴⁴ Weatherford International.LA.



Figura N° 114.- No dejes que tu complacencia lastime a alguien más.

Fuente: Weatherford. International. LA.

7.1.8. Inducción y entrenamiento

“Queremos que se asegure que a todos los empleados se les proporcione una inducción, capacitación continua y que sus competencias sean evaluadas a fin de asegurar que su trabajo se puede completar de manera segura. Weatherford cuenta con las siguientes reglas que rigen:

- Nunca comenzaré una tarea si no estoy capacitado para realizarla de manera segura.
- Los empleados recientemente incorporados siempre deberán completar su formación y estarán claramente identificados y supervisados.

Otros elementos importantes de esta joya:

Las visitas a todas las instalaciones de Weatherford deben recibir inducciones específicas del sitio.

Todos los SSE que trabajan en los talleres de Weatherford, locaciones de campo o torres de perforación deberán ser identificados con el uso de cascos naranjas. Cada uno es responsable de la seguridad y bienestar de los SSE.

Los SSE deben siempre consultar a su supervisor antes de someterse a una tarea con la cual no están familiarizados.”⁴⁶

⁴⁵ Weatherford International. LA.

⁴⁶ Weatherford International.LA.

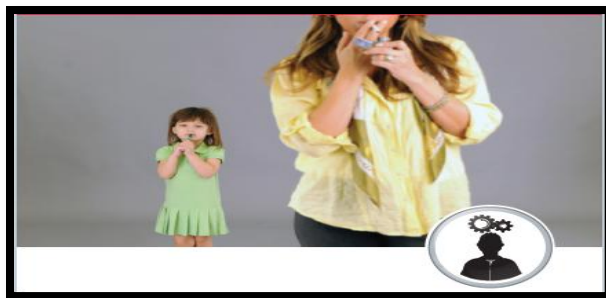


Figura N° 115. Nunca subestimes tu poder de influencia.
Fuente: Weatherford. International. LA.

7.2. CERTIFICACIONES DE CALIDAD

“Weatherford cuenta con los Sistemas de Calidad, Seguridad y Protección Ambiental implementados bajo los estándares ISO 9000 y 14000, así como la incorporación de tecnologías de última generación satisfacen las necesidades y expectativas de nuestros clientes, en cuanto a productos y servicios, ofrecidos en nuestra base o fuera de ella.”⁴⁷

7.3. PLAN DE CONTINGENCIA PARA EL CONTROL AMBIENTAL

7.3.1. Manual de HSE

La empresa Weatherford cuenta con su respectivo manual de HSE, el mismo que tienen fácil accesibilidad vía web para sus trabajadores que tienen acceso a una cuenta en la empresa.

Además los conocimientos que se encuentran el manual son afianzados mediante capacitaciones continuas para dar a conocer las respectivas normas de seguridad ambiental que deben ser utilizadas tanto por los trabajadores como para las empresas contratistas.

7.3.2. Mantenimiento y Control del Medio Ambiente

7.3.2.1. Propósito

“Diseñar el programa de control ambiental con base en las normas y regulaciones vigentes en los diferentes países donde Weatherford opera en latino américa, considerando el control de los aspectos ambientales significativos asociados a emisiones al aire, descargas al agua, manejo de residuos, contaminación de la tierra, uso de materias primas y recursos naturales; de igual manera desarrollar los programas de mantenimiento a las instalaciones de tratamiento de agua, residuos sólidos y aceites residuales (tanques de almacenamiento de aceites residuales, trampas de aceite, desarenadores, canales de

⁴⁷ Weatherford International.LA.

agua lluvia, cunetas perimetrales, tanques de agua para consumo sanitario y toda aquella instalación que sea diseñada para minimizar o eliminar la emisión de contaminantes al ambiente).”⁴⁸

7.3.2.2. Alcance

“Este programa involucra todas las operaciones de Weatherford y sus subcontratistas en las bases de Latinoamérica como también, las operaciones desarrolladas en los taladros de la compañía perforadora y operadora.”⁴⁹

7.3.2.3. Responsabilidades

- “El gerente de país es responsable de coordinar y establecer la dirección integral del programa.
- El gerente de distrito ejecuta y delega responsabilidades para cumplir los objetivos del programa.
- Coordinador de salud, seguridad y medio ambiente, dirige, inspecciona y controla el programa de mantenimiento y control ambiental en las áreas expuestas.
- Cuadrillas de respuesta (obreros de patio) son responsables de ejecutar el plan de contingencia para el mantenimiento de trampas de grasas, desarenadores, canales y cunetas.”⁵⁰

7.3.2.4. Procedimiento

“El coordinador de salud, seguridad y medio ambiente, desarrollará actividades del programa de mantenimiento y control ambiental de acuerdo al siguiente procedimiento en cada una de las bases:

Contactar los especialistas para programar las mediciones ambientales de ruido, iluminación y polvos metálicos.

- Ubicar las zonas de impacto de mayor intensidad sonora.
- Identificar las áreas con alta exposición a humos metálicos.
- Realizar mediciones ambientales de iluminación.”⁵¹

“Programar las actividades con la compañía subcontratista para evaluar el impacto ambiental en las bases de Weatherford a nivel de:

- Emisiones de aire.

⁴⁸ Weatherford International.LA.

⁴⁹ Weatherford International.LA.

⁵⁰ Weatherford International.LA.

⁵¹ Weatherford International.LA.

- Vertimientos y descargas de agua.
- Manejo de residuos sólidos.
- Manejo de residuos líquidos.
- Contaminación edáfica.
- Uso de materias primas y recursos naturales.

Organizar el sistema de recolección de aceites y sólidos residuales en las bases con la compañía de reciclaje.

Coordinar con los especialistas del laboratorio ambiental para analizar los parámetros permisibles, a las muestras del agua de consumo sanitario y al agua que se vierte al exterior de las bases.

Organizar el plan de manejo ambiental de las bases de Weatherford con el especialista ambiental.

Diseñar instalaciones de acuerdo al plan de manejo ambiental respectivo con el objeto de mantener un ambiente sano

Tramitar la licencia ambiental, si se requiere, para las diferentes bases de acuerdo a la reglamentación expuesta por la autoridad ambiental del país.

Programar anualmente el mantenimiento ambiental para las bases

- Limpieza a los tanques de almacenamiento de agua.
- Limpieza a las trampas de aceite.
- Limpieza a los desarenadores.
- Limpieza a los tanques de almacenamiento de aceite residual.
- Mantenimiento a canales de aguas lluvias.
- Corte de prados.
- Siembra de árboles nativos y zonas verdes a los alrededores de las bases.

Monitorear el sistema de administración ambiental.

Preservación de fauna y flora en el área de influencia directa de las bases.”⁵²

⁵² *Weatherford International.LA.*

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- La presente investigación Teórico-Práctica contribuye a buscar mejoras en la optimización de la producción en Sistemas de Bombeo Mecánico y Nuevas Tecnologías, mediante nuevas propuestas tecnológicas e innovadoras a través de un monitoreo en tiempo real con el programa LOWIS™ BEAM.
- El análisis Workbench que nos presenta LOWIS™ BEAM, muestra resultados más concretos y nos permite de esta manera poder determinar donde ocurren los problemas, y poder tomar acciones rápidas y precisas evitando pérdidas de producción.
- El método elegido para realizar el Análisis Workbench es el método de Everitt Jennings de Diferencias Finitas que nos ofrece resultados más exactos al momento de calcular las cartas de fondo.
- LOWIS™ BEAM presenta opciones de comunicación de acuerdo a la locación de cada pozo como la fibra óptica, vía celular y vía satelital, según las facilidades de cada pozo.
- LOWIS™ BEAM nos ofrece algunas ventajas, y una de las principales es poder tener una conexión en tiempo real, y de esta manera sistematizar los Sistemas de Bombeo Mecánico, pudiendo darnos la facilidad de trabajar vía remota con varios pozos a la vez desde un solo ordenador.

8.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable que los datos de los pozos seleccionados para LOWIS™ BEAM provengan de fuentes confiables y sean lo más actuales posibles, ya que así se logrará una mejor exactitud en los resultados del Análisis Workbench.
- Las Cartas Dinamométricas para hacer el análisis Workbench deben ser tomadas directamente de los variadores Well Pilots, para que puedan ser analizadas por LOWIS™ BEAM.
- Los pozos seleccionados que serán conectados a LOWIS™ BEAM deben cumplir con algunas condiciones físicas para tener una mejor comunicación y resultados óptimos al momento de realizar un análisis.

CAPITULO IX

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ANEXOS

9.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1.1. Bibliografía Citada

- ^{1,2,3,4} Weatherford International. LA. Artificial Lift System.
- ^{5,6,7,8,9,10,11,12,13,14} Manual Optimización de Bombeo Mecánico. Theta Enterprise Inc. 1989-2005.
- ^{15,16,17} Weatherford International.LA. Presentación Reciprocating Rod Lift System PDF.
- ¹⁸ Weatherford International.LA. Manual de Operaciones del Equipo VSH2 PDF.
- ^{19,20,21} Manual de Interpretación de carta Dinamométricas
- ^{22,23,24,25,26} Production Optimization Using Nodal Analysis, D. Beggs
- ^{27,28,29} http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.PDF
- ³⁰ 6th Annual Sucker Rod Pumping - Workshop - Wyndham Hotel, Dallas, Texas - September 14 – 17, 2010- Modified Everitt-Jennings (MEJ) - Method and the Gibbs Method: Downhole Card Comparison.
- ³¹ Mediateca. Rimed. Cu.
- ^{32,33,34,35,36,37} Manual de LOWIS para pozos con Bombeo Mecánico. Weatherford International. LA.
- ³⁸ Trabajo conforme a Contrato realizado entre EP PETRECUADOR y PARLADISERVICES SA, el cual el cual consta en el Programa de Actividades de Reacondicionamiento 2012.
- ^{39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52} Weatherford International.LA.- QHSSE

9.1.2. Bibliografía Consultada

- Takacs, G. (2003) “Sucker Rod Pumping Manual L. R.” SPE.Tulsa,Oklahoma, EEUU.
- Theta, Enterprice Inc. “Manual de Optimización der Bombeo Mecánico”.2005

- Campos, O., Panchi, C. (2011). “Estudio para el Cambio de levantamiento Artificial a Bombeo Mecánico en el Campo Lago Agrio Operado por EP. Petroecuador”. Tesis para optar por el Título de Ingeniero de Petróleos, Escuela de Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Andrade, G., Rivadeneira, D. (2012). “Optimización de la Producción utilizando los datos obtenidos con la herramienta LOWIS en el área de Libertador”. Tesis para optar por el Título de Ingeniero de Petróleos, Escuela de Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Weatherford International (2008).” LOWISTM (Software de Información de Vida útil de un pozo) Manual de Entrenamiento”. Versión del Software 5.0.
- Trapani, J. Weatherford International.” Artificial Lift System Manual de Operación VSH2”.
- Weatherford International.” Artificial Lift System Manual de Instalación y Operación Rotaflex”.
- Dale, B. H., 2003. “Production Optimization Using NODAL, Analysis”, Tulsa Oklahoma.

9.1.3. Webgrafía

- (<http://www.weatherford.com/weatherford/groups/web/documents/weatherfordcorp/WFT066360.pdf>)
- (<http://www.weatherford.com/weatherford/groups/web/documents/weatherfordcorp/WFT113912.pdf>)
- (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mip/carreon_s_r/capitulo4.pdf).
- http://www.monografias.com/trabajos15/tipos-bombas/tipos_bombas.shtml#xJpi
- http://www.alrdc.com/workshops/2010_2010SuckerRod/Private/PDF%20Files/1%20---%20Presentation%20---%20Weatherford%20---%20Modified%20Everitt-Jennings%20Method.pdf.
- <http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetropreview?id=00018189>
- <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/2771/2711>

9.2. ANEXOS

ANEXO A-1: Glosario Técnico

A

Análisis Nodal.- Es el análisis de un sistema que ha sido aplicado por varios años para analizar el desempeño del sistema a partir de la interacción de cada uno de sus componentes. El procedimiento consiste en seleccionar un punto de división o nodo en el pozo y dividir el sistema en ese punto.

Análisis Workbench.- Banco de trabajo analítico permite al analista observar toda la información necesaria en varias formas para diagnosticar el problema y el comportamiento del pozo.

Arenisca.- Roca sedimentaria formada por granos de arena cementados.

B

Barra Lisa (Varillón Pulido).- Es una varilla de superficie pulida rectificada y acabada finamente para proveer una superficie sellante para el Stuffing Box, puede ser de diferentes longitudes y sirve como medio de conectar el sistema de fondo con la unidad de superficie.

Bit.- El bit es la unidad mínima de información empleada en informática, en cualquier dispositivo digital, o en la teoría de la información.

Byte.- Es una unidad de información utilizada como un múltiplo del bit. Generalmente equivale a 8 bits.

Bombas Reciprocantes.- Son unidades de desplazamiento positivo descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera.

Bombeo Mecánico.- Sistema de levantamiento artificial el cual el principio fundamental es un conjunto de varillas, unidas a un motor en superficie y una bomba de fondo que hace que el petróleo sea llevado desde el fondo hasta la superficie.

BPD.- Barriles por día calendario, representan la cantidad de crudo que una refinería puede destilar bajo condiciones normales de operación.

BSW.- Abreviatura de “Basic Sediment and Water”, Indica el porcentaje de materiales extraños y agua que se producen con el petróleo y que deben ser separados del mismo antes de su entrega en el punto de venta.

C

Cabilla.- Varillas utilizadas en el sistema de bombeo mecánico.

Carta Dinográfica.- Diagrama que representa la carga vs recorrido de la bomba.

Cartas Fx.- La carta Actual muestra todas las lecturas, mientras que la carta Diaria muestra los promedios por día.

Carga Med. Balancín.- LOWIS™ muestra el pico de la carga máxima en la barra pulida o balancín (en cientos de pulgadas). Esto es lo mismo que la carga pico de la barra pulida.

Contrabalanceo.- Cuando existe un desfase en el balanceo de los contrapesos en balancines.

Coupling.- Elemento mecánico roscado que sirve para unir las varillas o la sarta telescópica.

E

Embolada.- La repetición continua ascendente y descendente.

Eficiencia de Flujo.- Es una medida cuantitativa de la condición del pozo (dañado o estimulado), éste término es la relación entre el índice de productividad real y el índice de productividad ideal que podría resultar si el pozo no estuviese estimulado.

G

Gráfica FAP.- Diagrama que representa el fluido sobre la bomba.

Gráfica FAP/PIP.- Es un diagrama que muestra el fluido sobre la bomba y la presión de succión de la bomba sobre un período de tiempo.

L

Levantamiento Artificial.- Métodos utilizados dentro de la industria petrolera para llevar hacia la superficie el petróleo, una vez que la presión de flujo natural en el pozo ha declinado. Así se tiene entre los diferentes sistemas está el Bombeo por varillas (el más utilizado en el mundo), Bombeo hidráulico y Bombeo Electrosumergible, son los métodos más utilizados en el medio petrolero.

P

Petróleo.- Es principalmente una disolución compleja de hidrocarburos saturados (gases, líquidos y sólidos) cuyo número de átomos de carbono va generalmente de 1 a 50. En los petróleos americanos

predominan los hidrocarburos alifáticos o en cadena abierta y en los europeos los ciclo-alifáticos. Su densidad oscila entre 0,82 y 0,95 g/cm³.

Pozo petrolero.- Cavidad perpendicular hecha en el suelo y subsuelo hasta encontrar uno o varios yacimientos que contengan hidrocarburos, en cualquiera de sus formas.

Presión de Casing.- Este valor es ingresado por el usuario y es la presión actual o existente en el cabezal del casing (Psig).

Presión de Tubing.- Este valor es ingresado por el usuario y es la presión actual o existente en el cabezal del tubing (Psi) y que la unidad de bombeo debe vencer para producir el pozo.

Pressure Back.- Denominada comúnmente presión de cierre.

R

RPC.- Técnica para la comunicación entre procesos en una o más computadoras conectadas a una red.

RTU.- Es un dispositivo basado en microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese.

S

Sector del DOWNSTREAM.- Término utilizado en el sector petrolero que se refiere al aprovechamiento del Gas Natural.

Sector del UPSTREAM.- Se refiere a la exploración y explotación de petróleo.

Sucker Rod (Varilla).- Elemento mecánico de acero, que mide 25 pies de largo y de hasta 1 1/8' de diámetro con conexión caja roscada en los extremos y se usa para unir fondo con superficie.

T

Torque API (Asc).- Es el valor pico (mayor) neto calculado del torque (miles de pulgadas-libras) en la embolada ascendente.

Torque API (Desc).- Es el valor pico (mayor) neto calculado del torque (miles de pulgadas-libras) en la embolada descendente.

Torque CB Exist. (1000).- Es el torque actual o existente de contrabalanceo, basado en las manivelas y contrapesos actuales (miles de pulgadas-libras).

Temp. LF.- Esta es la temperatura ("°F") actual o existente en el cabezal del tubing o línea de flujo ingresada por el usuario.

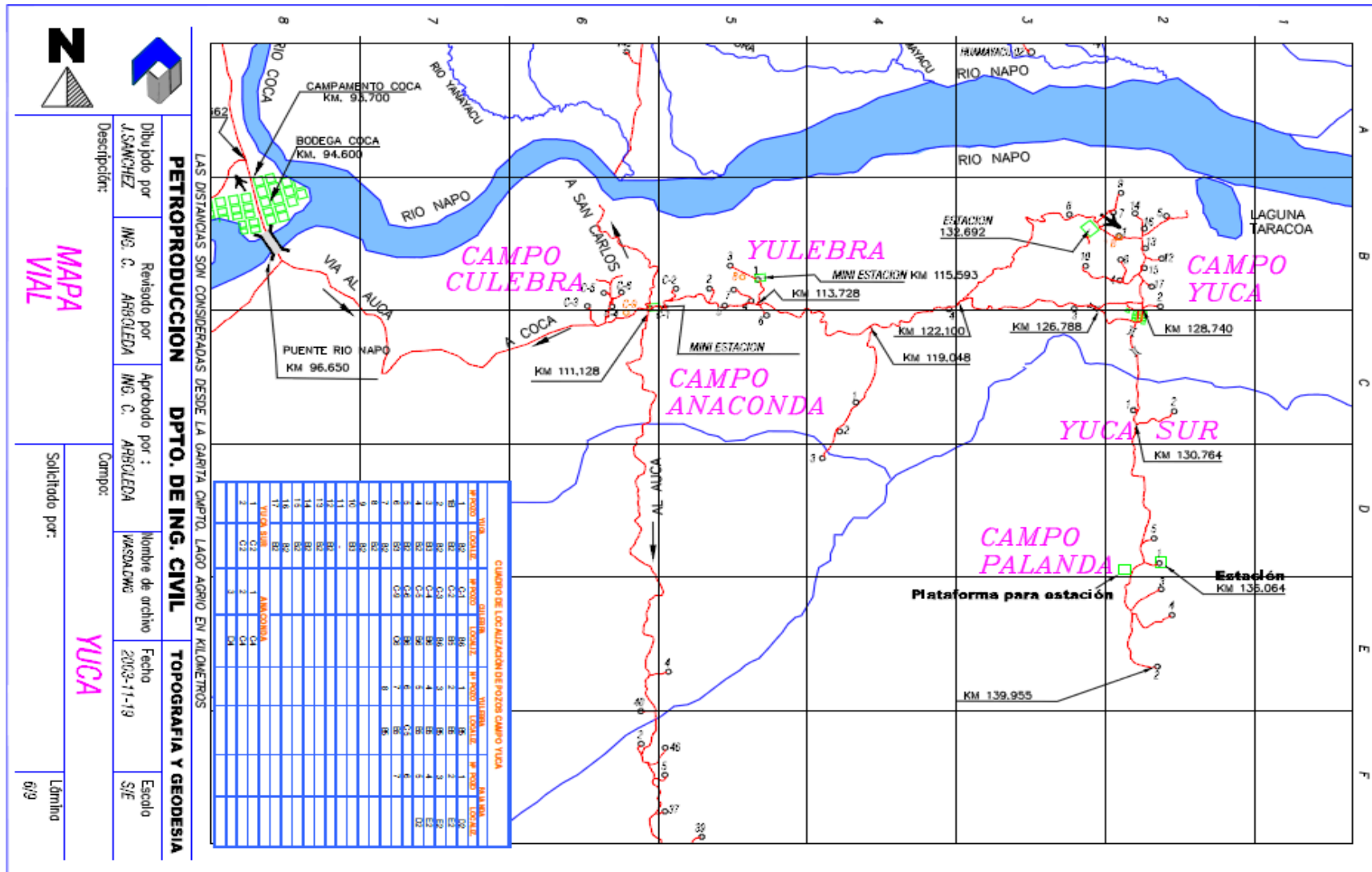
W

WSM.- Este sistema distribuye contenidos multimedia a múltiples pantallas a través de Internet. Entre las diferentes aplicaciones tenemos la diversidad y calidad de sus contenidos, su facilidad de manejo, la posibilidad de funcionar las 24 horas del día, los 365 días del año, y de controlarlo desde cualquier lugar del mundo.

Y

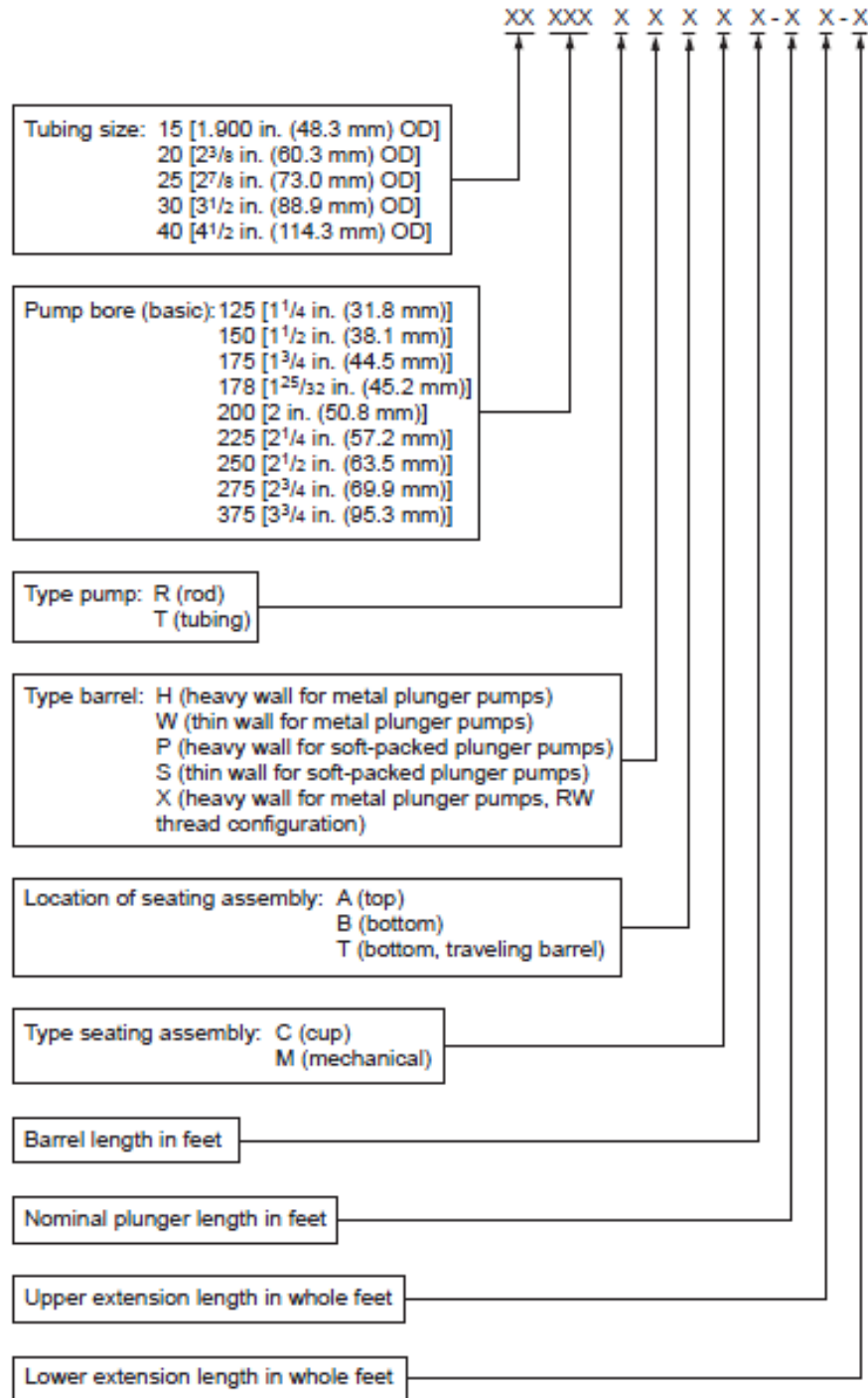
Yacimiento de Crudo.- Depósito mineral cuyo grado de concentración o ley mineral hace que sea económicamente rentable su explotación.

ANEXO B-1: Mapa Vial de ubicación del Campo Yuca - Auca



Fuente: Petroamazonas EP- Campo Auca

ANEXO C-1: Designación de las bombas de acuerdo a la API



Fuente: Recommended Practice for Care and Use of Subsurface Pumps – American Petroleum Institute

ANEXO C-2: Modelos de la Unidad Rotaflex

MODELO	1151	1150	1100	900
Puntuación reductor (pulg/lb)	420000	320000	320000	320000
Longitud de Carrera (ft)	366	366	306	288
Max. Pulido de Varilla	50000	50000	50000	36000
Max. Carrera (spm)	3,75	3,64	4,3	4,5
Min. Carrera (spm)	No hay mínimo absoluto			
Montaje de contrapeso (lb)	9800	9800	9800	9400
Contrapeso (lb)	30200	30200	30200	21980
Total Contrapeso (lb)	40000	40000	40000	31380
Carga del ancho de banda	50	50	50	42
Longitud de la correa larga	38ft 10 in	38ft 10 in	33ft 10 in	32ft 6in
Cargar cinturón resistencia a la tracción (PIW)	10000	10000	10000	10000
Dimensiones de la Rotaflex (Largo x Ancho x Alto) (ft)	23,6x8,5x49,3	23,6x8,5,49,3	23,6x8,5x44,3	21,6x7,6x40,5
Tamaño de envío (Largo x Ancho x Altura) (ft)	49,3x8,3x10,2	49,3x8,3,10,2	44,3x8,3x10,2	40,5x7,4x9,2
Peso del envío (lb)	55000	53880	52300	42900
Peso base (lb)	29000	29000	29000	29000
Tamaño base (Largo x Ancho)(ft)	24x8,5	24x8,5	24x8,5	24x8,5
Temperatura trabajando	- 40°C to +59°C -40°F + 140°F			
Tamaño de la carga del cinturón	50 in x 38ft 10in	50 in x 38ft 10 in	50 in x 33ft 10 in	42 in x 32 ft 6 in

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Realizado por: Melina Estrada B.

ANEXO D- 1: Registro de Nivel y Dinagrama del pozo Yulebra 03

PPRL (Peak Polished Rod Load): 24228 lbs

MPRL (Minimum Polished Rod Load): 10944 lbs

% Carga Sobre la Estructura de la Unidad: 79%

% Carga en Varillas 7/8": 67%

% Carga en Varillas 3/4": 56%

Sumergencia de la Bomba: 1330 ft

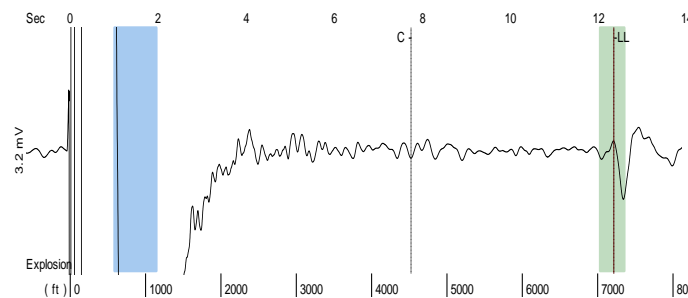
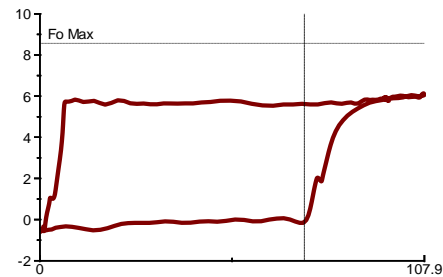
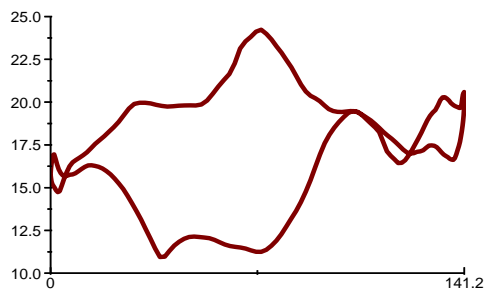


Figura 1: Registros correcta Operación del pozo- Febrero 14 de 2013

El 8 de marzo del 2013, se realiza seguimiento de monitoreo al pozo revisando las principales condiciones operativas en superficie y realizando registro de Nivel, Dinagrama y Pruebas de válvulas, encontrado una mejora en las condiciones de fondo, mejorando el llenado de 68% a

84% luego de colocar un ligero golpe sobre la bomba para sacudir las posibles depositaciones de sólidos a la entrada del intake.

La unidad de Bombeo trabaja en recorrido medio de 144" y el sistema opera a una velocidad de 7.8 spm, con cargas adecuadas para el sistema instalado:

PPRL (Peak Polished Rod Load): 24165 lbs

MPRL (Minimum Polished Rod Load): 10119 lbs

% Carga Sobre la Estructura de la Unidad: 66%

% Carga en Varillas 7/8": 70%

% Carga en Varillas 3/4": 60%

Sumergencia de la Bomba: 1372 ft

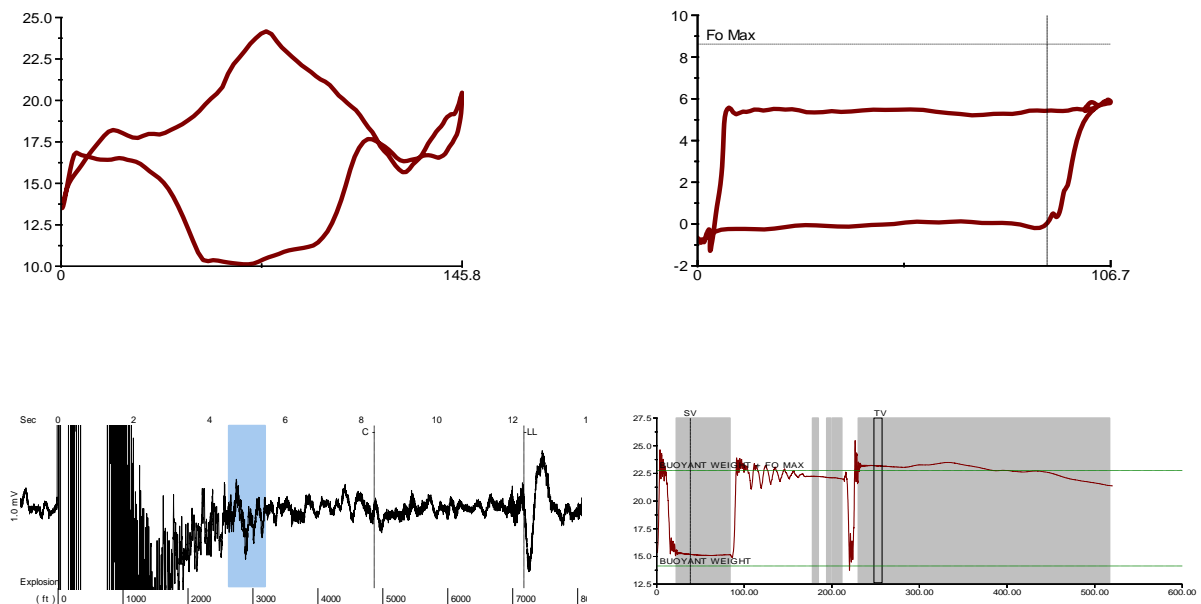
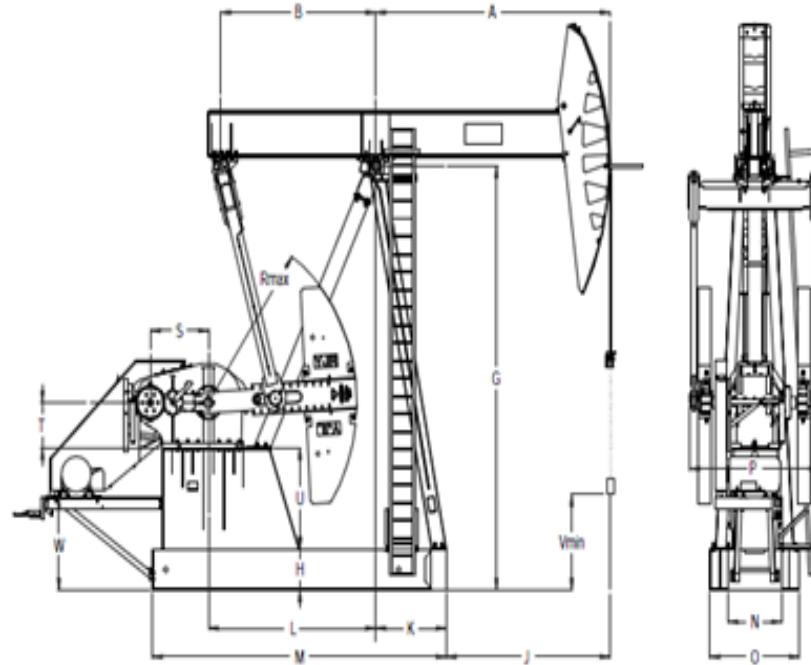


Figura 2: Registros correcta Operación del pozo- Marzo 8 de 2013

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

ESPECIFICACIONES Y DIMENSIONES C912-365-168 MAXIMIZER



Dimensions

Size	A (ft/m)	B (ft/m)	G (ft/m)	H (in./mm)	J (ft/m)	K (ft/m)	L (ft/m)	M (ft/m)	N (ft/m)	O (ft/m)	P (ft/m)	R (ft/m)	S (in./mm)	T (in./mm)	U (ft/m)	V (ft/m)	W (ft/m)
912-305-192					12.93 3.94											4.00 1.22	
912-365-168	17.58 5.36																
912-305-168		10.17 3.10	23.17 7.06	24.125 612.78	10.74 3.27	4.66 1.42	11.00 3.35	19.30 5.88	3.00 1.0	5.88 1.79	8.54 2.60	9.75 2.97	45.750 13.94	30.00 762.00	5.57 1.70	4.92 1.50	4.84 1.48

Fuente: Weatherford. LA. – Artificial Lift System – Mechanical Pumping

Melina del Carmen Estrada Benalcázar

CI: 0704310788
ECUATORIANA
SOLTERA



Dirección Actual: Alejandro de Valdez y Nuñez de Bonilla (Conjunto Residencial Torres de Italia T3) Quito - Ecuador

Teléfonos: 023 200 121 convencional
0992982957 movistar

Direcciones electrónicas: melys_eb@hotmail.com (principal)
melyna_estrada@yahoo.es (alterno)

FORMACIÓN ACADÉMICA

► Formación Primaria

Escuela Fiscal de Niñas Ecuador No52.
Huaquillas - El Oro - Ecuador

► Formación Secundaria

Bachiller en Ciencias. Especialidad Físico-Matemáticas.
Colegio Particular Mixto "Don Bosco".
Huaquillas - El Oro - Ecuador

► Formación Pregrado

Ingeniería de Petróleos
Universidad Central Del Ecuador.
Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental.
Quito – Pichincha - Ecuador

IDIOMAS

► Inglés

Universidad Central del Ecuador
Básico – Intermedio

Charlotte English School
Actualmente Cursando Nivel Intermedio

AFILIACIONES PRE – PROFESIONALES

Society of Petroleum Engineers SPE

PRÁCTICAS PRE – PROFESIONALES

► EP PETROECUADOR

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS QUITO

Lugar: Laboratorios San Rafael – Quito

Fecha: 09 de Marzo - 20 de Marzo del 2009

Tiempo: 12 días

► EP PETROECUADOR

COORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

Lugar: Oriente Ecuatoriano - Campos Shushufindi, Auca, Cuyabeno, Libertador

Fecha: 11 de Agosto - 6 de Septiembre del 2011

Tiempo: 27 días

► SCHLUMBERGER - Geoservices

COORDINACION DE OPERACIONES – MUD LOGGING

Lugar: Base Coca – Oficinas Quito

Fecha: 10 de Febrero – 10 Agosto del 2012

Tiempo: 6 meses

▶ **WEATHERFORD – Artificial Lift System**

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN - LOWIS

Lugar: Base Coca – Oficinas Quito

Fecha: 18 de Febrero – 18 Octubre del 2013

Tiempo: 8 meses

CURSOS Y SEMINARIOS

▶ IV OIL AND GAS INTERNATIONAL EXPO AND CONGRESS

Quito, 19 – 21 de mayo del 2011

▶ SEMINARIO “WORKSHOP DE SIMULACION DE RESERVORIOS Y MODELAMIENTO GEOLOGICO (PETREL Y ECLIPSE)”

Quito, 18 -19 de junio del 2011

▶ CURSO BASICO DE ESTIMULACIÓN Y FRACTURAMIENTO HIDRAULICO SCHLUMBERGER

Quito, 24 de noviembre del 2011

▶ JORNADAS TÉCNICAS HALLIBURTON

Quito, 14 – 16 de marzo del 2012

▶ CONFERENCIA “GEOLOGÍA MARINA: Un Archivo del Cambio Climático” FIGEMPA

Quito, 7 – 9 de abril de 2011

▶ NEW EMPLOYEE SAFETY TRAINING “NEST” SCHLUMBERGER

El Coca, 5 – 9 de marzo del 2012

▶ CONFERENCIA DE COMPLETION TECHNOLOGY FRONTIERS DEVELOPMENT

Quito, 2 de abril del 2012

▶ CURSO DE PRIMEROS AUXILIOS BASICOS – Instituto Superior Tecnológico Cruz Roja Ecuatoriana (NEST SCHLUMBERGER)

Quito, 8 de marzo del 2012

▶ JORNADAS TÉCNICAS HALLIBURTON

Quito, 20 – 22 de julio del 2012

- ▶ V OIL AND GAS INTERNATIONAL EXPO AND CONGRESS
Quito, 31 de julio al 2 de agosto del 2012
- ▶ JORNADAS TÉCNICAS WEATHERFORD
Quito, 30-31 de octubre del 2012
- ▶ CURSO BASICO DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE ESTIMULACION A POZOS MEDIANTE
FRACTURAMIENTO HIDRAULICO SCHLUMBERGER
Quito, 13 de noviembre del 2012

REFERENCIAS

- ▶ Ing. Carlos Rodríguez 0984496029
- ▶ Ing. Marco Pérez 0894032594
0991040256